KLAUS SCHWAB

Fondateur et Président
du World Economic Forum

LA QUATRIÈME RÉVOLUTION INDUSTRIELLE



Préface de
Maurice Lévy

DUNOD

Couverture : Misteratomic
Traduction : Jean-Louis Clauzier et Laurence Coutrot

Title of the English original version :
"The Fourth Industrial Revolution", published 2016.
This translation of "The Fourth Industrial Revolution"
is published by arrangement with the World Economic Forum, Cologny, Switzerland.

Dunod, 11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN : 978-2-10-076997-1

Sommaire

Préface

Dans son *Dictionnaire des idées reçues*, Gustave Flaubert aurait pu ajouter une entrée utile, quoique moins courante il y a cent ans : « Visionnaire : l'écouter quand il parle ».

Klaus Schwab a toujours eu une prescience des mouvements à venir et des forces qui, de manière sourde et puissante, travaillent nos sociétés modernes.

Lorsqu'il fonde le World Economic Forum, il a déjà cette volonté absolue de convier l'ensemble des esprits et forces vives – nos amis anglophones parleraient des *stakeholders* – à réfléchir, débattre et construire. Les entreprises bien sûr, elles qui sont aux premières loges de l'innovation, mais également les gouvernements, les universitaires, les syndicats, les ONG et tous les représentants de la société civile – y compris les plus jeunes, le Forum ayant montré la voie

aux entreprises en promouvant les Young Global Leaders.

La méthode est connue et explique le succès du Forum : peser de manière concrète, en travaillant à l’amélioration du monde (« *committed to improving the state of the world* »). Klaus Schwab s’est toujours soucié du lien avec la réalité et ne s’est jamais contenté de formuler des idées théoriques. Lucide, il n’hésite pas à rappeler aux chefs d’État – toujours avec respect – des vérités difficiles à dire.

La longévité d’un tel succès est remarquable elle aussi. Depuis 45 ans déjà, il a su faire fructifier la justesse de son intuition originelle en prenant des risques, en questionnant continuellement, de manière à toujours faire évoluer le Forum pour garder un temps d’avance sur la société et sur l’avenir.

C’est ainsi que le Forum a accueilli très tôt des débats qui dépassaient les cadres nationaux pour interpeller l’ensemble du monde. Dès 1992, quelques mois seulement après l’abolition de l’apartheid et en pleine phase de transition, Nelson Mandela, le président sud-africain Frederik de Klerk et le chef zoulou Mangosuthu Buthelezi se rencontraient pour la première fois à l’étranger, lors de la réunion annuelle du World

Economic Forum à Davos. Deux ans plus tard et dans le même cadre, Shimon Peres, alors ministre israélien des Affaires étrangères, et le chef de l'OLP Yasser Arafat concluaient un projet d'accord sur Gaza et Jéricho, qui complétera le processus d'Oslo.

Sans surprise, le Forum a également perçu bien en amont certains changements de paradigme en matière économique et industrielle – au premier chef le numérique, en invitant de façon précoce des start-up – et il s'est continuellement attaché à suggérer de nouveaux angles d'action et réflexion.

Aussi, lorsque le Professeur Schwab nous encourage à penser l'avenir de la société industrielle, je ne pouvais qu'être intéressé – et naturellement flatté de l'honneur qui m'était fait à travers l'écriture de ces lignes.

Cet ouvrage condense, de manière didactique et riche en exemples concrets, une réflexion tous azimuts sur la plus formidable révolution industrielle : la quatrième du nom – celle d'un monde connecté.

Par bien des aspects, la science-fiction d'hier a résolument pénétré l'ensemble de nos activités, qu'elles soient quotidiennes, augmentées ou

virtuelles. Cette accélération fulgurante, loin de se résumer à une différence de degré, constitue un véritable changement de nature – un nouveau référentiel pour l'homme, qui doit réinventer sa manière de vivre, de travailler, de consommer et de faire société.

Même à l'échelle des grandes étapes de l'Humanité, toutes marquées par de profondes « disruptions » – chasseurs-cueilleurs, agriculture puis trois révolutions industrielles : vapeur, électricité et numérique –, cette révolution revêt un caractère absolument singulier.

Jamais le rythme de l'innovation n'aura été aussi soutenu ; et ce, dans tous les secteurs de l'économie, qu'ils soient industriels (automobile, énergie, transport, etc.) ou de services (banque, assurance, communication, hôtellerie, etc.). Tandis que les « disruptions » technologiques associées à cette nouvelle révolution (intelligence artificielle, Internet des objets, impression 3D, etc.) ont un caractère additif qui démultiplie leur impact, fleurons industriels, laboratoires et start-up s'affrontent désormais sur un champ de bataille des idées dont les règles ont profondément évolué : d'emblée globalisé, accordant une prime

déterminante aux pionniers et à la vitesse, et en tenant compte d'un client devenu coproducteur des produits et des marques – le consommateur.

Jamais non plus la diffusion de ces innovations à l'ensemble de la société mondialisée n'aura été si rapide, avec, en ligne de mire à l'horizon d'une décennie, une multiplication des points de bascule, ces moments particuliers où une technologie se diffuse au plus grand nombre et change ainsi notre quotidien pour de bon ; pensez au smartphone.

Quel meilleur témoin érudit que Klaus Schwab pour esquisser le prodigieux dividende sociétal – le Professeur est un optimiste irréductible – qui pourrait en résulter, mais également pour tirer avec force la sonnette d'alarme ?

En effet, nos sociétés, confrontées à un tel rythme d'innovation, peinent à prendre la véritable mesure de ces bouleversements complexes et interdépendants. Emploi, individualisme, partage, inégalités, valeur ajoutée, contrôle des données, vivre ensemble et éthique : cette Quatrième Révolution Industrielle interroge l'ensemble de notre société, voire la menace, lorsque des technologies comme

l'intelligence artificielle seraient susceptibles d'échapper au contrôle de l'homme. Rappelez-vous HAL, l'ordinateur de *2001 : l'Odyssée de l'espace*, prenant le contrôle du vaisseau spatial.

Notre responsabilité à venir sera par conséquent colossale et collective. Citoyens, investisseurs, décideurs économiques et responsables politiques devront définir le cadre qui ménagera la place et la liberté de l'homme dans ce monde 4.0. Cette révolution n'est pas seulement industrielle. Elle touche l'organisation de la vie en société, le travail, le quotidien de chacun. Elle intervient dans les plus petits détails de notre vie et interroge notre fonctionnement dans l'avenir. Pas seulement celui des entreprises. Plus sûrement que la politique ou les sciences humaines, elle annonce un profond changement de société.

À la lumière de son unique expérience, à la croisée des mondes, le Professeur Schwab nous invite à adopter une approche holistique de ces enjeux et il propose plusieurs axes de réflexion qui permettront de façonner ce futur en train d'éclore autour des notions d'humanisme, de prospérité et d'émancipation.

Enfin, je ne peux qu'être extrêmement sensible au fait que Klaus Schwab ait souhaité

traduire son livre en français. J'ai la conviction que la France est dotée de formidables atouts dans le contexte de cette Quatrième Révolution Industrielle – les sciences bien sûr, dans lesquelles elle excelle et qui sont le fondement même de ce bouleversement, mais également une capacité à penser avec indépendance les enjeux sociétaux qui s'annoncent, que ce soient les inégalités ou les données. Klaus Schwab est un francophile et il me semble essentiel d'entendre ses propos tout à la fois lucides, véridiques et pleins d'encouragements bienveillants.

Depuis le premier choc pétrolier qui marqua la fin des Trente Glorieuses, un slogan revient au gré des aléas politiques et économiques : « La France n'a pas de pétrole mais elle a des idées. » Cette révolution reste balbutiante et ouverte, il ne tient qu'à nous de nous en saisir !

Maurice Lévy
Président du Directoire Publicis Groupe

Introduction

De tous les défis multiples et fascinants auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui, le plus important est de comprendre et orienter la nouvelle révolution technologique, qui n'implique rien de moins qu'une transformation de l'humanité. Nous sommes à l'aube d'une révolution qui bouleverse déjà notre manière de vivre, de travailler et de faire société. Ce phénomène inédit par son envergure et sa complexité constitue ce que je considère comme la Quatrième Révolution Industrielle.

Nous sommes encore loin d'avoir saisi pleinement la rapidité et l'ampleur de cette nouvelle révolution. Ainsi, des possibilités infinies s'ouvrent dès lors que des milliards de personnes sont connectées sur des appareils mobiles, offrant une puissance de traitement, des capacités de stockage et un accès à l'information

sans précédent. De même, la convergence vertigineuse des percées technologiques couvre d'immenses domaines : l'intelligence artificielle (IA), la robotique, l'Internet des objets (IdO), les véhicules autonomes, l'impression en 3D, les nanotechnologies, les biotechnologies, les sciences des matériaux, le stockage d'énergie et l'informatique quantique, pour ne citer que ceux-là. La plupart de ces innovations en sont encore à leurs balbutiements, mais déjà leur développement atteint un point d'inflexion ; elles se renforcent, se nourrissent les unes les autres, aboutissant à une fusion des technologies des mondes physique, numérique et biologique.

Nous assistons à une recomposition de tous les secteurs industriels, avec l'émergence de nouveaux business models, la disruption[1] des acteurs en place et la restructuration des systèmes de production, consommation, transport et livraison. Sur le plan sociétal, un changement de paradigme affecte notre manière de travailler et de communiquer, mais aussi de nous exprimer, de nous informer et de nous divertir. Les systèmes politiques et institutionnels se trouvent remodelés, tout comme l'éducation, la santé ou le transport. La technologie devient également un moyen de

modifier notre comportement et nos systèmes de production et de consommation ; elle permet de contribuer à la régénération et à la préservation de l'environnement, plutôt que de créer des externalités négatives, et tous les coûts cachés que cela entraîne.

L'ampleur, la rapidité et la portée de ces changements sont historiques.

L'incertitude qui entoure l'évolution et l'adoption des technologies émergentes est telle que l'on ignore encore les effets des transformations provoquées par cette révolution industrielle : leur complexité, leur transversalité impliquent que tous les acteurs – du monde politique, économique, universitaire et de la société civile – s'unissent pour mieux comprendre les tendances émergentes. Un cadre de compréhension nouveau est nécessaire si nous voulons bâtir un avenir collectif porteur d'objectifs et de valeurs communs. Il nous faut parvenir à une vision d'ensemble, largement partagée, concernant l'impact de la technologie sur notre vie et celle des générations futures, et sur le contexte économique, social, culturel et humain actuel.

Ces bouleversements sont extrêmement profonds : jamais l'humanité n'a connu

d’époque à la fois si prometteuse et si dangereuse. Je m’inquiète, cependant, de constater que trop de décideurs demeurent prisonniers d’un mode de raisonnement traditionnel, linéaire (ignorant la disruption) ; trop pris par leurs obligations immédiates, ils ne parviennent pas à développer une pensée stratégique sur les forces de disruption et d’innovation qui orientent notre avenir.

Je suis bien conscient que certains universitaires et dirigeants considèrent ces tendances comme le simple prolongement de la troisième révolution industrielle. Toutefois, trois raisons renforcent ma conviction qu’une quatrième révolution distincte se dessine :

Rapidité : contrairement aux révolutions industrielles précédentes, celle-ci se déploie à une vitesse exponentielle et non linéaire, parce que nous vivons dans un monde aux multiples facettes, profondément interconnecté : chaque technologie nouvelle en engendre d’autres, encore plus puissantes.

Ampleur et profondeur : la révolution numérique est à la racine de la révolution actuelle qui combine diverses technologies, entraînant un changement de paradigme sans précédent dans le domaine économique et social,

dans le monde des affaires, mais aussi sur le plan individuel : ce ne sont pas seulement le « quoi » et le « comment » de notre manière de faire qui se trouvent bouleversés, mais également « qui » nous sommes.

Impact systémique : cette révolution implique une transformation de systèmes entiers, à travers (et à l'intérieur) des pays, des entreprises et tous les pans de la société.

En écrivant ce livre, mon intention est de proposer une vue d'ensemble de la Quatrième Révolution Industrielle : ce qu'elle est, ce qu'elle va nous apporter, comment elle nous impactera, et ce que pouvons faire pour l'orienter afin qu'elle bénéficie à tous. Ce livre s'adresse à tous ceux qui s'intéressent à notre avenir et désirent saisir les opportunités offertes par ces changements révolutionnaires pour travailler à l'amélioration du monde.

Mon objectif est triple :

– sensibiliser au caractère global et à la rapidité de la révolution technologique et de ses multiples impacts ;
– élaborer un cadre de réflexion pour penser cette révolution technologique, identifier

les problèmes qu'elle pose, les réponses possibles ;

– créer une plateforme qui suscite la coopération et les partenariats public-privé autour de questions liées à la révolution technologique.

Avant tout, ce livre vise à montrer comment la technologie peut coexister avec la société. La technologie n'est pas une force exogène sur laquelle nous n'aurions aucune prise. Nous ne sommes pas prisonniers d'une alternative binaire entre « accepter et supporter » d'un côté et « refuser et s'en passer » de l'autre. Il s'agit plutôt de prendre ces bouleversements technologiques comme une invitation à reconsidérer qui nous sommes et comment nous voyons le monde. Plus nous réfléchirons à la manière de maîtriser la révolution technologique, plus nous reviendrons sur nous-mêmes et examinerons les modèles sociaux sous-jacents à ces technologies, et plus nous serons à même d'orienter la révolution de manière à améliorer l'état du monde.

Orienter la Quatrième Révolution Industrielle de sorte qu'elle soit libératrice et centrée sur l'humain, et non source de division et déshumanisante : cette tâche ne saurait être le

fait d'un seul acteur, d'un seul secteur, d'une seule région, industrie ou culture. Par sa nature fondamentale et globale, cette révolution affectera – et sera en retour influencée par – tous les pays, toutes les économies, tous les secteurs et tous les peuples. C'est pourquoi il est essentiel de mettre notre énergie au service d'une coopération entre tous les acteurs de cette Quatrième Révolution Industrielle, qu'ils soient universitaires, politiques, membres de la société civile ou encore industriels. Ces interactions et collaborations sont indispensables à la construction d'un récit positif, commun et porteur d'espoir, permettant aux individus et aux groupes du monde entier de participer aux transformations en cours et d'en bénéficier.

L'essentiel des informations, ainsi que ma propre analyse, présentées dans ce livre s'appuient sur les projets et initiatives actuels du World Economic Forum. Elles ont été élaborées, discutées et débattues lors des réunions et événements récemment organisés par le Forum. Ce livre propose également un cadre de réflexion et d'action afin d'élaborer les futures activités du World Economic Forum. Je me suis aussi inspiré de mes nombreux entretiens avec des leaders du monde de l'industrie, de la

politique, de la société civile, du monde académique et de la recherche, ainsi qu'avec des pionniers de la technologie mais aussi de la jeune génération. En un sens, ce livre est le fruit d'une production participative, d'un *crowdsourcing* pour employer le terme anglo-saxon, le produit de l'intelligence collective des communautés qui participent au Forum.

Cet ouvrage est divisé en trois chapitres. Le premier est une présentation générale de la Quatrième Révolution Industrielle. Le deuxième aborde les principales transformations technologiques. Le troisième approfondit et identifie l'impact de la révolution et certains des défis politiques qu'elle implique. Je conclus en proposant des idées et solutions pratiques sur la meilleure manière d'adapter, orienter et contrôler le potentiel de cette puissante transformation.

1

La Quatrième Révolution Industrielle

Le contexte historique

Par « révolution », on entend un changement brusque et radical. L'histoire est ponctuée de révolutions ; à chaque fois, une innovation technologique ou une idéologie nouvelle déclenche une transformation en profondeur des structures économiques et sociales. Historiquement, les révolutions impliquant des changements radicaux peuvent s'étaler sur des années.

La première mutation importante de notre mode de vie, il y a 10 000 ans environ, lors du

passage de la vie de chasseur-cueilleur à celle d'agriculteur, a été rendue possible par la domestication de certains animaux. La révolution de l'agriculture est née en associant l'effort animal et l'effort humain pour la production, le transport et les communications. Peu à peu, la production alimentaire s'est améliorée, entraînant la croissance démographique et la concentration des populations, d'où le processus d'urbanisation et l'essor des villes.

À la révolution de l'agriculture succède, à partir de la seconde moitié du XVIIIe siècle, une série de révolutions industrielles. Dans un premier temps, à la force musculaire succède l'énergie mécanique ; aujourd'hui, avec la Quatrième Révolution Industrielle, c'est la puissance de l'intelligence augmentée qui vient renforcer la capacité de production.

La première révolution industrielle couvre la période allant de 1760 à 1840. Déclenchée par l'invention de la machine à vapeur et la construction des chemins de fer, elle inaugure l'ère de la production mécanisée. La deuxième révolution industrielle couvre la fin du XIXe siècle et le début du XXe : elle permet la production de masse, avec l'électricité et les

chaînes de montage. Émergeant dans les années 1960, la troisième révolution industrielle est en général appelée révolution informatique ou numérique : elle est catalysée par le développement des semi-conducteurs, avec l'ordinateur *mainframe* ou ordinateur central (années 1960), l'ordinateur personnel (années 1970 et 1980) puis Internet (années 1990).

J'ai bien conscience des controverses scientifiques autour de la définition des trois premières révolutions industrielles, et je pense fermement que nous sommes aujourd'hui à l'aube d'une Quatrième Révolution Industrielle. Née au tournant de ce siècle, dans le prolongement de la révolution numérique, elle se caractérise par la présence universelle d'Internet sous sa forme mobile, par des capteurs toujours plus petits, plus puissants et moins chers, et par l'apparition de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique (*machine learning*).

Les technologies numériques avec leurs équipements informatiques, leurs logiciels et leurs réseaux ne datent pas d'hier ; ce qui rompt avec la troisième révolution industrielle, c'est leur complexité et leur intégration toujours croissantes, qui bouleversent les sociétés et l'économie mondiale. De là, l'expression d'un

« deuxième âge de la machine[2] », utilisée par deux chercheurs du Massachusetts Institute of Technology (MIT), Erik Brynjolfsson et Andrew McAfee, pour qualifier notre époque ; d'après eux, le monde se trouve à un point d'inflexion, et l'effet de ces technologies numériques va se manifester dans « toute sa puissance » par l'automatisation et donner naissance à « des choses sans précédent ».

On discute actuellement en Allemagne de l'« Industrie 4.0 », terme forgé en 2011 lors la Foire de Hanovre pour décrire la manière dont ces transformations vont bouleverser toutes les filières de l'économie mondiale. En inaugurant l'« usine intelligente », la Quatrième Révolution Industrielle crée un monde où les systèmes virtuels et physiques de production du monde entier coopéreront de manière flexible : on pourra ainsi personnaliser intégralement les produits et créer de nouveaux modèles de fonctionnement.

Pourtant, la portée de la Quatrième Révolution Industrielle va bien au-delà des systèmes et des machines intelligentes et connectées. On assiste à plusieurs vagues d'innovations simultanées dans toutes sortes de domaines, du séquençage génétique aux

nanotechnologies, des énergies renouvelables à l'informatique quantique. C'est la fusion des technologies et leur interaction simultanée dans le monde physique, numérique et biologique qui constitue l'originalité de cette Quatrième Révolution Industrielle.

Cette fois, les technologies émergentes et les innovations transversales se diffusent bien plus vite et plus largement que lors des révolutions précédentes, lesquelles continuent à se développer dans certains pays. La deuxième révolution industrielle n'a pas encore atteint 17 % de la population mondiale : près de 1,3 milliard de personnes n'ont toujours pas accès à l'électricité. Il en va de même pour la troisième révolution industrielle : plus de la moitié de la population mondiale – 4 milliards d'individus –, pour la majeure partie dans les pays en développement, n'a pas accès à Internet. La navette volante, emblème de la première révolution industrielle, a mis près de 120 ans à se diffuser hors d'Europe. Il a fallu moins d'une décennie à Internet pour envahir la planète.

La leçon de la première révolution industrielle est encore valable : le niveau d'adoption de l'innovation technologique par la société est un déterminant majeur du progrès. Les

administrations et institutions publiques, tout comme le secteur privé, ont leur rôle à jouer, mais il est aussi essentiel que les citoyens en perçoivent les bénéfices à long terme.

Je suis fermement convaincu que la Quatrième Révolution Industrielle sera aussi puissante que les trois précédentes, et qu'elle aura un impact et une importance historique équivalents. Toutefois, deux éléments principaux me préoccupent, qui sont susceptibles d'empêcher cette révolution de se réaliser de façon pleine et cohérente.

Tout d'abord, dans tous les secteurs, le leadership et la compréhension des bouleversements en cours me semblent insuffisants : il est impératif de repenser nos systèmes économiques, sociaux et politiques pour faire face à cette nouvelle révolution industrielle. Au niveau national comme au niveau mondial, le cadre institutionnel requis pour piloter la diffusion des innovations et en atténuer les effets disruptifs est faible, voire inexistant.

Ensuite, le monde a besoin d'un récit collectif, cohérent et positif exposant les problèmes et les espoirs nés de la Quatrième Révolution Industrielle ; un tel récit est indispensable si

nous voulons donner un pouvoir d'initiative aux individus et aux diverses communautés et éviter un rejet populaire des transformations qui ont commencé.

Un changement profond et systémique

Notre hypothèse de départ est que la technologie et le numérique vont tout révolutionner. « Cette fois, c'est différent » : ce vieil adage, trop souvent galvaudé, prend tout son sens aujourd'hui. Des innovations technologiques majeures sont sur le point de provoquer d'immenses bouleversements dans le monde entier. C'est inévitable.

Au vu de l'ampleur et de la portée des changements, on comprend pourquoi l'impression de « disruption » et de nouveauté est si vive. Tant par son développement que par sa diffusion, l'innovation est plus rapide que jamais. Les « disrupteurs » d'aujourd'hui, Airbnb, Uber, Alibaba, etc., universellement connus, étaient quasi inconnus il y a quelques années à peine. L'omniprésent iPhone n'a été

lancé qu'en 2007. Fin 2015, on comptait plus de 2 milliards de smartphones. En 2010, Google a annoncé sa première voiture entièrement autonome. Sous peu, ces véhicules envahiront les routes.

On pourrait multiplier les exemples. Pourtant la vitesse n'est pas seule en cause : les rendements d'échelle sont eux aussi impressionnants. Grâce à la numérisation qui permet l'automatisation, les entreprises échappent (du moins en partie) aux rendements d'échelle décroissants. Pour s'en faire une idée, il suffit de comparer Détroit en 1990 (alors capitale des industries traditionnelles) avec la Silicon Valley de 2014. En 1990, les trois plus grosses entreprises de Détroit avaient une capitalisation boursière cumulée de 36 milliards de dollars, un chiffre d'affaires de 250 milliards de dollars et 1,2 million de salariés. En 2014, les trois principaux géants de la Silicon Valley avaient une capitalisation boursière bien plus élevée (1 090 milliards de dollars), généraient à peu près le même chiffre d'affaires (247 milliards de dollars), mais avec environ 10 fois moins d'employés (137 000[3])[4].

Aujourd'hui, il faut beaucoup moins de salariés pour créer une unité de valeur qu'il y a

10 ou 15 ans, car, dans le numérique, les coûts marginaux des entreprises tendent vers zéro. De plus, à l'ère du numérique, nombre d'entreprises fournissent des « biens et services d'information », avec des coûts de stockage, de transport et de reproduction quasi nuls. Dans les nouvelles technologies, certaines entreprises disruptrices n'ont besoin que d'un capital réduit pour prospérer. Ainsi, Instagram ou WhatsApp ont démarré avec un financement minime : avec la Quatrième Révolution Industrielle, le rôle du capital et la taille des entreprises changent. D'une manière générale, la recherche de rendements d'échelle croissants incite les entreprises à grandir et entraîne des changements transsectoriels.

Ce qui fait la spécificité de la Quatrième Révolution Industrielle, outre sa rapidité et son envergure inédites, c'est son caractère transversal, avec la coordination et l'intégration croissantes de multiples découvertes venant de champs divers. Les innovations tangibles nées de la conjonction de différentes technologies ne relèvent plus de la science-fiction. Ainsi, les technologies de fabrication numériques s'immiscent aujourd'hui dans le domaine biologique.

Déjà, certains designers et architectes mêlent conception informatique, impression 3D, génie des matériaux et biologie de synthèse pour inventer des systèmes dans lesquels interagissent des micro-organismes, notre corps, les produits que nous consommons, et même les bâtiments où nous habitons. Ce faisant, ils fabriquent (ou parfois même « font pousser ») des objets capables d'évoluer et de s'adapter en permanence (faculté jusqu'ici réservée aux organismes vivants).

Dans *Le Deuxième âge de la machine,* Brynjolfsson et McAfee affirment que les ordinateurs sont si agiles qu'il est quasi impossible de prédire à quoi ils serviront sous peu. L'intelligence artificielle (IA) est omniprésente : voitures et drones autonomes, assistants virtuels ou encore logiciels de traduction. Tout cela est en train de bouleverser notre existence. Grâce à l'explosion de la puissance de calcul et aux ressources des bases de données, l'IA a fait des progrès impressionnants, des logiciels permettant de découvrir de nouveaux médicaments aux algorithmes prédicteurs de nos préférences en matière culturelle. La plupart de ces algorithmes se nourrissent de nos traces, ces « petits

cailloux » que nous semons en parcourant le monde numérique. Il en résulte de nouveaux types d'apprentissage automatique et de découverte automatisée, qui permettent à des robots et à des ordinateurs « intelligents » de s'autoprogrammer et de trouver des solutions optimales à partir de principes élémentaires.

Des applications telles que Siri, développée par Apple, donnent une idée de la puissance des assistants « intelligents ». Ceux-ci ont commencé à émerger il y a seulement quelques années. Aujourd'hui, la reconnaissance vocale et l'intelligence artificielle progressent si rapidement que parler aux ordinateurs deviendra bientôt la norme. On assistera à la naissance de ce que certains technologues appellent « *ambient computing* » (informatique omniprésente) : ces robots assistants personnels seront constamment à disposition pour prendre des notes et répondre aux demandes des usagers. Toujours plus intégrés à notre écosystème personnel, nos appareils seront à notre écoute, anticiperont nos besoins et nous aideront si nécessaire, sans même qu'on le leur demande.

Les inégalités, défi systémique

Les bienfaits que l'on peut attendre de la Quatrième Révolution Industrielle sont à la mesure des risques qu'elle soulève. À cet égard, le creusement des inégalités est particulièrement préoccupant.

Les problèmes liés à la montée des inégalités sont difficiles à évaluer, car nous sommes tous à la fois consommateurs et producteurs : l'innovation et la disruption auront des effets à la fois positifs et négatifs sur notre niveau de vie et notre bien-être.

Il semblerait que le grand gagnant soit le consommateur. Avec la Quatrième Révolution Industrielle apparaissent de nouveaux produits et services qui, à très faible coût, facilitent la vie du consommateur. Appeler un taxi, trouver un billet d'avion, commander un objet, effectuer un paiement, écouter de la musique, regarder un film – tout cela peut à présent se faire en ligne. Pour nous tous consommateurs, les bienfaits de la technologie sont indiscutables. Internet, les smartphones et leurs milliers d'applications rendent la vie plus facile, et (globalement) plus productive. Une simple tablette, avec laquelle nous pouvons lire, surfer sur Internet et communiquer, a une puissance de calcul équivalente à celle de 5 000 ordinateurs d'il y a

30 ans, tandis que le coût du stockage de l'information tend vers zéro (stocker 1 gigabit coûte en moyenne moins de 0,03 dollar par an aujourd'hui, contre plus de 10 000 dollars il y a 20 ans).

Ce sont principalement l'offre de main-d'œuvre et l'offre productive qui se trouvent affectées par les effets négatifs de la Quatrième Révolution Industrielle. Depuis quelques années, l'immense majorité des pays développés, plus quelques puissances économiques à forte croissance, comme la Chine, ont enregistré une baisse significative de la part du travail en pourcentage du produit intérieur brut (PIB). Ce déclin est dû pour moitié à la baisse du prix relatif des biens d'investissement[5], elle-même induite par les progrès de l'innovation (qui contraignent les entreprises à substituer le capital au travail).

Par conséquent, les grands bénéficiaires de la Quatrième Révolution Industrielle sont les détenteurs de capital intellectuel ou physique – innovateurs, investisseurs et actionnaires –, ce qui explique l'écart de richesse croissant entre ceux qui dépendent de leur travail et ceux qui détiennent du capital. De là une certaine rancœur chez tous ceux qui constatent la stagnation de

leurs revenus réels et ont cessé d'espérer pour leurs enfants une vie meilleure que la leur.

La hausse des inégalités engendre de plus en plus une dénonciation des injustices. Je consacre toute une section du chapitre 3 à ces questions majeures. La concentration des bénéfices et de la valeur entre les mains d'une élite économique réduite est aussi amplifiée par ce que l'on appelle l'effet de plateforme : des organisations spécialisées dans le numérique créent des réseaux mettant en relation acheteurs et vendeurs de toutes sortes de produits et de services, profitant ainsi de rendements d'échelle croissants.

L'effet de plateforme provoque une concentration : des plateformes peu nombreuses mais puissantes dominent les marchés. Les bénéfices sont évidents, notamment pour le consommateur : valeur plus élevée, service facilité et coûts réduits. Néanmoins, les risques sociétaux sont eux aussi manifestes. Pour éviter la concentration de valeurs et de puissance entre les mains d'un petit nombre d'individus, on devra trouver des moyens d'équilibrer les bénéfices et les risques des plateformes numériques (incluant notamment les plateformes

industrielles) en garantissant leur transparence et en permettant l'innovation collaborative.

Tous ces bouleversements remodèlent nos systèmes économiques, sociaux et politiques ; il est impossible de revenir en arrière, même si le processus de mondialisation lui-même devait s'inverser. La question qui se pose, dans tous les secteurs et toutes les entreprises, sans exception, n'est plus « Vais-je subir une disruption ? », mais « Quand viendra-t-elle, quelle forme prendra-t-elle et comment va-t-elle m'affecter ? »

Si la « disruption » est bien réelle et son impact sur nous, inévitable, nous ne sommes pas pour autant impuissants face à elle. Il nous appartient de définir un ensemble de valeurs communes pour favoriser les choix directionnels et mettre en œuvre les changements qui feront de la Quatrième Révolution Industrielle une opportunité pour tous.

2

Les éléments moteurs

D'innombrables organismes ont produit des listes de diverses technologies qui seront le moteur de la Quatrième Révolution Industrielle. Les innovations scientifiques et les technologies nouvelles ainsi générées semblent illimitées, tant elles se déploient partout et sur toutes sortes de fronts. Ma sélection des technologies clés à surveiller s'appuie sur des recherches menées par le World Economic Forum et par plusieurs membres de notre groupe d'experts qui font partie de notre communauté nommée Global Agenda Council.

Les mégatendances

Toutes les nouvelles inventions et technologies ont un point commun : elles tirent leur force du numérique et des technologies de l'information. Toutes les innovations décrites dans ce chapitre sont rendues possibles et sont renforcées par la puissance numérique. Ainsi, le séquençage génétique serait impossible sans l'augmentation des puissances de calcul et sans les progrès de l'analyse des données. De même, sans puissance de calcul, pas d'intelligence artificielle et, sans cette dernière, pas de robots sophistiqués.

Pour identifier les mégatendances et présenter un éventail des éléments moteurs technologiques de la Quatrième Révolution Industrielle, j'ai décomposé la liste en trois groupes : physique, numérique et biologique. Les interactions entre ces trois types sont profondes, et chacune de ces technologies bénéficie des découvertes et des progrès des autres.

Les éléments moteurs de type matériel

Dans le domaine physique, on discerne quatre principales mégatendances technologiques,

particulièrement faciles à repérer du fait de leur présence physique :

– véhicules autonomes ;
– impression en 3D ;
– robotique de pointe ;
– nouveaux matériaux.

Les véhicules autonomes

La voiture sans conducteur fait la une de l'actualité, mais il existe toutes sortes de véhicules autonomes : camions, drones, avions et bateaux. Au fur et à mesure des progrès des capteurs et de l'intelligence artificielle, les performances de tous ces véhicules autonomes s'améliorent rapidement. D'ici quelques années à peine, on trouvera dans le commerce des drones à bas coûts, ainsi que des submersibles, qui seront utilisés pour toutes sortes d'applications.

En devenant plus sensibles et réactifs à leur environnement (capables de dévier automatiquement de leur trajectoire pour éviter les collisions), les drones pourront accomplir toutes sortes de tâches, comme vérifier les lignes

électriques ou livrer du matériel médical en zones de conflits. En agriculture, le recours aux drones, associé à l'analyse des données, permettra par exemple un usage plus précis et plus efficace des engrais et de l'eau.

L'impression en 3D

L'impression en 3D, ou fabrication additive, consiste à créer un objet à partir d'un dessin ou d'un modèle numérique en 3D en ajoutant la matière couche par couche. C'est le principe inverse du procédé utilisé jusqu'à présent, la fabrication soustractive, procédant par retrait de matière à partir d'un bloc jusqu'à obtenir la forme désirée. L'impression 3D, elle, part d'un matériau liquide ou en poudre puis fabrique un objet en trois dimensions à partir d'un modèle numérique.

Cette technologie est utilisée dans toutes sortes d'applications, de la plus grande échelle (éoliennes) à la plus petite (implants médicaux). Pour l'instant, elle sert surtout dans l'automobile, l'aérospatiale et le secteur médical. Contrairement à la fabrication de masse, l'impression en 3D permet aisément de

fabriquer des objets sur mesure. À mesure que les contraintes actuelles de taille, de prix et de vitesse seront progressivement dépassées, l’impression 3D se diffusera encore et inclura des composants électroniques intégrés, voire des cellules ou des organes humains. Les chercheurs travaillent déjà sur la « 4D », un procédé qui créerait une nouvelle génération de produits dynamiques capables de s’auto-altérer en réponse aux changements de l’environnement, comme la chaleur ou l’humidité. Cette technologie pourrait être utilisée pour le textile et les chaussures, mais aussi pour la santé, comme des implants conçus pour s’adapter au corps humain.

La robotique de pointe

Encore récemment confinée à des tâches étroitement contrôlées dans des secteurs spécifiques, comme l’automobile, l’utilisation de robots se répand à présent dans tous les secteurs pour des tâches diverses, de l’agriculture de précision au soin des malades. Grâce aux progrès de la robotique, la collaboration entre humains et machines sera bientôt un fait banal.

En outre, d’autres avancées technologiques permettent aux robots de devenir plus adaptables, plus souples ; leur structure et leur fonctionnement seront inspirés de structures biologiques complexes (un procédé appelé biomimétisme, consistant à imiter les motifs et stratégies de la nature).

Équipés de capteurs plus perfectionnés, les robots parviennent à mieux « comprendre » leur environnement ; leurs réactions s’améliorent, et ils peuvent désormais accomplir une large gamme d’activités, par exemple les tâches ménagères. Autrefois, les robots devaient être programmés par une unité autonome ; ils peuvent à présent accéder aux informations à distance *via* le *cloud* et se connecter à un réseau d’autres robots. La prochaine génération de robots sera sans doute le fruit d’un travail plus approfondi sur la collaboration homme-machine. Au chapitre 3, j’explore les questions éthiques et psychologiques que soulèvent ces nouvelles relations homme-machine.

Les matériaux nouveaux

De nouveaux matériaux, aux propriétés inimaginables il y a quelques années, arrivent sur le marché : ils sont plus légers, plus solides, recyclables et adaptables. Il existe à présent des applications pour des matériaux intelligents capables de s'autoréparer ou de s'autonettoyer, des métaux à mémoire de forme qui reprennent leur forme d'origine, des céramiques ou des cristaux qui transforment la pression en énergie, etc.

Comme pour nombre d'innovations issues de la Quatrième Révolution Industrielle, il est difficile de prévoir à quoi aboutiront ces nouveaux matériaux. Citons par exemple les nanomatériaux de pointe comme le graphène, qui est environ 200 fois plus solide que l'acier, 1 million de fois plus fin qu'un cheveu et excellent conducteur thermique et électrique[6]. Une fois devenu compétitif (c'est pour l'instant le matériau le plus cher à produire au monde : à l'heure où ces lignes sont imprimées, une paillette de 1 micron coûte plus de 1 000 dollars), le graphène pourrait provoquer un bouleversement important dans les industries manufacturières et les infrastructures[7]. Il pourrait aussi affecter profondément les pays qui dépendent d'une ressource naturelle unique.

D’autres matériaux nouveaux pourraient jouer un rôle majeur pour atténuer les risques auxquels nous faisons face. Ainsi, les récentes innovations dans le domaine des plastiques thermodurcissables pourraient rendre réutilisables des matériaux pour l’instant quasi impossibles à recycler, mais fortement utilisés, des téléphones aux cartes-mères, en passant par l’aérospatiale. La récente découverte de nouvelles familles de polymères thermodurcissables recyclables, les polyhexahydrotriazines (PHT), est une avancée majeure vers l’économie circulaire, par nature régénératrice, qui consiste à découpler la croissance de l’exploitation des ressources[8].

Le numérique

L’un des principaux ponts entre les applications numériques et matérielles est l’Internet des objets (IdO). Sous sa forme la plus simple, il peut être décrit comme un réseau de relations entre des objets (produits, services, lieux, etc.) et des personnes reposant sur des technologies interconnectées et diverses plateformes.

Les capteurs, et mille autres manières de connecter les objets du monde physique aux réseaux virtuels, prolifèrent à toute allure. Partout, on intègre des capteurs plus petits, moins chers, plus intelligents : aux logements, aux vêtements et accessoires, aux villes, aux réseaux de transport et d'énergie, mais aussi aux procédés de fabrication. Dans le monde entier, des milliards d'appareils, smartphones, tablettes et ordinateurs, sont connectés à Internet. Leur nombre devrait exploser au cours des prochaines années ; les estimations vont de quelques milliards à plus de 1 000 milliards. Ils bouleverseront radicalement notre manière de gérer les chaînes de production et d'approvisionnement, en nous permettant de surveiller et d'optimiser les actifs et les activités avec une très grande précision. Tous les secteurs seront affectés par les transformations de l'industrie, de la fabrication à l'infrastructure en en passant par les soins et les systèmes de santé.

Prenons l'exemple du contrôle à distance, une application très répandue de l'IdO. Tout emballage, palette ou container peut à présent être équipé d'un capteur, d'un transmetteur ou d'une puce d'identification par radiofréquence (*radio-frequency identification*, RFID)

permettant à une entreprise de suivre ses mouvements sur toute la chaîne logistique, ses performances, son utilisation, etc. De même, les clients peuvent suivre en continu (pratiquement en temps réel) le cheminement de leur commande. Pour les entreprises qui gèrent des chaînes logistiques longues et complexes, c'est une révolution. Dans un avenir proche, des systèmes de suivi similaires seront également utilisés pour tracer les mouvements des personnes.

La révolution numérique bouleverse la manière dont les individus et les institutions interagissent et collaborent. Ainsi, la blockchain, souvent décrite comme un « grand registre », est un protocole sécurisé dans lequel un réseau d'ordinateurs vérifie collectivement une transaction avant que celle-ci ne soit enregistrée et approuvée. La technologie sous-jacente crée de la confiance en permettant à des personnes qui ne se connaissent pas (et n'ont donc aucune raison de se faire confiance) de collaborer sans avoir à passer par une autorité de régulation et de contrôle neutre, telle qu'un dépositaire ou un fichier central. En substance, la blockchain est un livre de comptes partagé, programmable, sécurisé par chiffrement, et donc fiable,

qu'aucun utilisateur ne peut à lui seul contrôler, et qui peut être inspecté par tous.

Le bitcoin est de loin la plus connue des applications de la blockchain, mais celles-ci seront bientôt innombrables. Si la technologie sert pour l'instant à enregistrer les transactions financières en monnaie numérique de type bitcoin, elle servira à l'avenir de registre pour toutes sortes d'actes : certificats de naissance et de décès, titres de propriété, certificats de mariage, diplômes, déclarations de sinistres, dossiers médicaux ou votes – en fait, tout type de transaction pouvant être exprimée en code. Déjà, plusieurs pays et institutions explorent le potentiel de la blockchain : le gouvernement du Honduras l'utilise pour gérer les titres fonciers, tandis que l'Île de Man teste son utilisation dans l'enregistrement des entreprises.

Plus largement, avec les plateformes technologiques, naît ce que l'on appelle à présent l'économie à la demande (ou économie du partage). Ces plateformes, facilement utilisables sur un smartphone, regroupent personnes, capitaux et données pour créer des modes de consommation des biens et services entièrement nouveaux. Elles abaissent les barrières pour les entreprises et les individus

pour créer de la richesse, modifiant les environnements personnels et professionnels.

Le modèle Uber est l'exemple le plus abouti de la puissance disruptive de ces plateformes technologiques. Les entreprises de ce type prolifèrent rapidement, offrant de nouveaux services, de la blanchisserie au parking, et des séjours chez l'habitant au covoiturage. Leur point commun : elles mettent en relation l'offre et la demande de manière très accessible (bon marché), offrent au consommateur une grande variété de biens et, en permettant aux deux parties d'échanger et de donner leur appréciation, elles génèrent de la confiance. Ainsi peuvent être utilisés efficacement des biens sous-utilisés, c'est-à-dire les biens de personnes qui ne s'étaient jamais considérées comme fournisseurs (d'une place dans leur voiture, d'une chambre libre chez eux, d'un lien commercial entre un détaillant et un fabricant, ou du temps et du savoir-faire pour rendre des services : livraison, réparations à domicile ou tâches administratives).

L'économie à la demande soulève la question fondamentale : que vaut-il mieux posséder, la plateforme ou le bien dont cette plateforme permet le commerce ? Comme l'écrit Tom

Goodwin, spécialiste de stratégie des médias dans un article paru en mars 2015 sur TechCrunch : « Uber, la plus grande compagnie de taxi au monde, ne possède aucun véhicule. Facebook, le plus grand groupe média au monde, ne crée aucun contenu. Alibaba, le géant de la vente au détail, n'a pas d'inventaire. Quant à Airbnb, la plus grande plateforme de réservation de logements, elle ne détient aucun bien immobilier[9] ».

Les plateformes numériques permettent une baisse spectaculaire des coûts de transaction et des coûts de friction lorsque des personnes ou des organisations partagent l'usage d'un bien ou d'un service. Chaque transaction peut à présent être divisée en minuscules incréments, avec des gains économiques pour toutes les parties. De plus, avec les plateformes numériques, le coût marginal de production de chaque unité supplémentaire tend vers zéro. Les implications pour les entreprises et la société sont immenses ; je les explore au chapitre 3.

Le biologique

En biologie, et en particulier dans le domaine de la génétique, les innovations donnent le vertige. Ces dernières années, des progrès considérables ont rendu moins cher et plus facile le séquençage génétique et, tout récemment, l'activation ou la modification des gènes. Il aura fallu plus de dix ans et 2,7 milliards de dollars pour mener à bien le *Human Genome Project*. Aujourd'hui, on séquence un génome en quelques heures et pour moins de 1 000 dollars[10]. Grâce au progrès de la puissance de calcul, les scientifiques n'ont plus à procéder par essais ou erreurs : ils testent directement la manière dont une variation génétique donne lieu à l'expression d'une caractéristique ou d'une maladie.

Prochaine étape : la biologie de synthèse, qui nous permettra de créer des organismes sur mesure en réécrivant l'ADN. Mis à part les profondes questions éthiques que cela soulève, ces avancées auront un impact profond et immédiat, non seulement sur la médecine, mais aussi sur l'agriculture et la production de biocarburants.

Nombre de nos problèmes de santé les plus graves, des maladies cardiovasculaires au cancer, ont une composante génétique. C'est

pourquoi la capacité à déterminer efficacement et à faible coût le profil génétique individuel (par des machines de séquençages utilisées dans les diagnostics de routine) révolutionnera les soins, les rendant plus efficaces et plus personnalisés. Pour traiter un patient atteint de cancer, les médecins pourront s'appuyer sur le profil génétique de la tumeur.

Si l'on comprend encore mal les liens entre les marqueurs génétiques et les maladies, l'accumulation de données permettra une médecine de précision, avec des traitements hautement ciblés. Déjà, Watson, le superordinateur d'IBM, peut, en quelques minutes, recommander des traitements personnalisés pour les patients atteints de cancer en comparant l'historique de la maladie et du traitement, l'imagerie et les données génétiques avec l'univers (quasi) complet de la connaissance médicale actuelle[11].

La capacité à modifier le vivant peut être appliquée à quasiment tout type de cellule, pour créer des plantes ou des animaux génétiquement modifiés, mais aussi modifier les cellules d'organismes adultes, y compris humains. Ces techniques se distinguent du génie génétique pratiqué depuis les années 1980 : elles sont

maintenant bien plus précises, efficaces et adaptatives que les anciennes méthodes. En fait, la science progresse si vite que les barrières sont à présent moins techniques que juridiques, réglementaires et éthiques. La liste des applications potentielles est virtuellement infinie, depuis la possibilité de modifier des animaux pour qu'ils aient une alimentation plus économique ou mieux adaptée aux conditions locales, jusqu'à la création de cultures capables de supporter la sécheresse ou des températures extrêmes.

Avec les progrès du génie génétique (citons la mise au point de la technique CRISPR/Cas9 pour l'édition du génome et les traitements), les contraintes liées au ciblage de l'organe et à la spécificité seront surmontées ; seule restera une question urgente et cruciale, en particulier du point de vue éthique : comment les modifications génétiques vont-elles révolutionner la recherche et les traitements médicaux ? En principe, les plantes et les animaux peuvent être modifiés pour produire des médicaments ou d'autres types de traitement. Le jour n'est pas loin où l'on pourra modifier une vache pour qu'elle produise dans son lait un agent coagulant pour les hémophiles.

Déjà, les chercheurs ont commencé à modifier le génome de porcs afin de fabriquer des organes destinés à être transplantés chez les humains (technique appelée xénogreffe, jusqu'à présent inenvisageable du fait des risques de rejet par le système immunitaire humain, et de transmission de pathologies de l'animal à l'homme).

J'ai expliqué plus haut comment les différentes technologies fusionnent et s'enrichissent mutuellement : ainsi, la fabrication en 3D sera associée au génie génétique pour produire des tissus vivants afin de réparer ou régénérer un organisme. Ce procédé, appelé « bio-impression », a déjà permis de générer des tissus cutanés, osseux, cardiaques et vasculaires. On finira par utiliser des couches de cellules bio-imprimées pour créer des greffons.

La dynamique de la découverte

L'innovation est un processus social complexe qui ne va pas de soi. C'est pourquoi, même si cette section a présenté toute une gamme d'avancées technologiques capables de changer le monde, il est indispensable de faire en sorte

que ces avancées se poursuivent et visent les meilleurs résultats possibles.

On estime souvent que les institutions universitaires sont à la pointe de l'élaboration d'idées nouvelles. Toutefois, des éléments récents montrent que, même dans les universités, les perspectives de carrière, les incitations à l'innovation et les conditions de financement actuellement en place favorisent trop souvent un type de recherche « incrémentale » conservatrice, au détriment de programmes ambitieux et novateurs[12].

Un antidote au conservatisme universitaire consiste à encourager une recherche plus appliquée. Toutefois, cette solution n'est pas sans difficultés. En 2015, Uber a recruté 40 chercheurs venant du département de robotique de l'Université Carnegie-Mellon (Pittsburgh, Pennsylvanie), soit une part importante des ressources humaines du laboratoire. Ceci a eu pour conséquence de générer des difficultés à honorer ses contrats avec le ministère de la Défense des États-Unis et d'autres organismes[13].

Afin d'encourager les travaux de pointe en recherche fondamentale comme dans les

technologies appliquées, dans les universités et dans les entreprises, les gouvernements devraient soutenir plus fortement des programmes de recherche ambitieux. De même, les partenariats public-privé en matière de recherche devraient être davantage structurés de manière à accumuler des connaissances et du capital humain au bénéfice de tous.

Des points de bascule

Présentées en termes généraux, ces mégatendances peuvent sembler abstraites ; en réalité, elles se traduisent par des applications et des développements extrêmement concrets.

Un rapport du World Economic Forum publié en septembre 2015 identifiait 21 points de bascule (c'est-à-dire le moment où une mutation technologique atteint la société dans son ensemble) qui façonneront notre monde numérique et hyperconnecté[14]. Tous devraient intervenir à l'horizon des dix prochaines années, et constituent donc de bons indicateurs des changements profonds qu'entraîne la Quatrième Révolution Industrielle. Pour les identifier, un

conseil du World Economic Forum constitué des meilleurs experts mondiaux dans le domaine des logiciels informatiques, des applications et de leurs implications sociétales a mené une enquête auprès de plus de 800 responsables et experts du secteur de l'information et des technologies de communication.

Le tableau 1 présente le pourcentage d'experts interrogés qui s'attendent à ce que le point de bascule en question se produise d'ici à 2025[15]. Dans l'Annexe de cet ouvrage, chaque point de bascule est présenté en détail avec ses impacts positifs et négatifs. Deux d'entre eux (les êtres humains « sur mesure » et les neurotechnologies), absents de la première enquête, sont inclus en annexe mais n'apparaissent pas dans le tableau 1.

Ces points de bascule apportent des éléments contextuels importants : ils signalent les changements systémiques majeurs à venir et indiquent les meilleurs moyens de s'y préparer. Comme je le montre au chapitre 3, vivre cette transition suppose de prendre d'abord conscience des mutations en cours et à venir, et d'envisager leur impact à tous les niveaux de la société dans son ensemble.

Tableau 1 – Les points de bascule attendus d'ici 2025

	%
10 % des personnes portent des objets connectés à Internet	91,2
90 % des personnes disposent d'un stockage illimité et gratuit (financé par la publicité)	91,0
1 000 milliards de capteurs sont raccordés à Internet	89,2
Le premier pharmacien robotisé aux États-Unis	86,5
10 % des lunettes de vue connectées à Internet	85,5
80 % des personnes ont une présence numérique sur Internet	84,4

	%
Production de la première voiture en impression 3D	84,1
Premier gouvernement à remplacer les recensements par des sources de big data	82,9
Premier téléphone implantable commercialisé	81,7
5 % des produits de consommation imprimés en 3D	81,1
90 % de la population utilise des smartphones	80,7
90 % de la population a un accès régulier à Internet	78,8
Le nombre de voitures sans conducteurs atteint 10 % du total des voitures en circulation aux États-Unis	78,2

	%
Première greffe d’un foie imprimé en 3D	76,4
30 % des audits d’entreprises réalisés grâce à l’intelligence artificielle	75,4
Premier gouvernement à collecter les impôts *via* une blockchain	73,1
Plus de 50 % du trafic Internet des particuliers destinés aux appareils et à l’électroménager	69,9
Davantage de trajets ou voyages dans le monde réalisés en véhicules partagés qu’en voitures privées	67,2
Première ville de plus de 50 000 habitants sans feux tricolores	63,7

	%
10 % du PIB mondial stocké sur une technologie de blockchain	57,9
Première machine d'intelligence artificielle au conseil d'administration d'une grande entreprise	45,2

Source : Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact, Global Agenda, Future of Software and Society, World Economic Forum, septembre 2015.

3

L’impact

La révolution technologique est d’une envergure sans précédent ; elle annonce des changements économiques, sociétaux et culturels si importants qu’ils sont impossibles à prédire avec précision. Dans ce chapitre, je tente toutefois de décrire et d’analyser, à différents niveaux, les types d’impacts individuels et collectifs que l’on peut envisager sur l’économie, l’entreprise, les gouvernements et les pays, les sociétés et les individus.

Dans tous ces domaines, une force dominante est à l’œuvre : l’*empowerment* (autonomisation ou émancipation) qui va venir bouleverser les relations entre les gouvernements et les citoyens, entre les entreprises, leurs salariés, leurs

actionnaires et leurs clients, ou encore entre les superpuissances et les petits pays. L'impact de la Quatrième Révolution Industrielle sur les modèles politiques, économiques et sociétaux existants obligera les acteurs à reconnaître qu'ils font désormais partie d'un système où le pouvoir est réparti, et où la réussite nécessite plus de collaboration et d'interactions.

L'économie

La Quatrième Révolution Industrielle aura un impact énorme et multiple sur l'économie mondiale. Le PIB, les investissements, la consommation, l'emploi, le commerce, l'inflation, etc., toutes les variables macroéconomiques se trouveront profondément affectées. J'ai choisi de me concentrer sur deux dimensions essentielles : la croissance (principalement sous l'angle de son déterminant à long terme, la productivité) et l'emploi.

La croissance

Quel sera l'impact de la Quatrième Révolution Industrielle sur la croissance ? Sur ce point, les économistes divergent. D'un côté, les techno-pessimistes affirment que la révolution numérique a déjà apporté l'essentiel de ses contributions et que son impact sur la productivité touche à sa fin. En revanche, pour les techno-optimistes, la technologie et l'innovation se trouvent à un point d'inflexion et vont bientôt déclencher une brusque hausse de la productivité et faire repartir la croissance.

Tout en admettant certains éléments de chacune des deux positions, je demeure un optimiste pragmatique. J'admets l'impact déflationniste potentiel de la technologie (même quand on parle de « bonne déflation ») et je sais que certains de ses effets sur la redistribution peuvent favoriser le capital au détriment du travail et comprimer les salaires (et donc la consommation). Je constate aussi que la Quatrième Révolution Industrielle permet à beaucoup de consommer davantage à moindre coût et d'une manière qui rend la consommation plus durable et donc plus responsable.

Pour réfléchir aux impacts potentiels sur la croissance, il est indispensable de les resituer dans le contexte des tendances économiques

récentes et des autres facteurs de croissance. Dans les années précédant la crise économique et financière de 2008, le taux de croissance mondiale atteignait environ 5 % par an. À ce rythme, le PIB aurait doublé tous les 14 ou 15 ans, sortant de la pauvreté des milliards de personnes.

Immédiatement après cette crise mondiale (appelée Grande Récession dans le monde anglophone), nombreux étaient ceux qui s'attendaient à voir l'économie mondiale retrouver un rythme de croissance élevé. Il n'en fut rien. L'économie mondiale semble bloquée à un rythme de croissance inférieur à la moyenne de l'après-guerre, environ 3 à 3,5 % par an.

Certains économistes ont émis l'hypothèse d'un « marasme séculaire » et emploient le terme de « stagnation séculaire », terme forgé par Alvin Hansen durant la crise de 1929 et récemment remis à l'honneur par les économistes Larry Summers et Paul Krugman. La « stagnation séculaire » correspond à une situation de faiblesse persistante de la demande que même des taux d'intérêts quasi nuls ne parviennent pas à relancer. Bien que controversée parmi les chercheurs, cette idée a d'importantes implications. Si elle est vraie,

alors la croissance du PIB mondial pourrait encore décliner. On peut imaginer un scénario extrême, qui verrait la croissance annuelle du PIB descendre à 2 % : un doublement du PIB prendrait alors 36 ans.

Les explications du ralentissement actuel de la croissance sont nombreuses : mauvaise allocation du capital, surendettement, mutations démographiques, etc. J'en aborderai deux, le vieillissement et la productivité, car tous deux sont étroitement mêlés aux progrès technologiques.

Le vieillissement de la population

De 7,2 milliards aujourd'hui, la population mondiale devrait passer à 8 milliards en 2030 et 9 milliards d'ici à 2050, ce qui devrait entraîner une hausse de la demande globale. Une autre tendance démographique puissante est toutefois à l'œuvre : le vieillissement. On croit souvent que ce phénomène ne touche que les pays occidentaux riches ; or, les taux de natalité sont en train de chuter en dessous du seuil de renouvellement dans nombre de régions du monde – non seulement en Europe, où ce déclin

a commencé, mais aussi dans une grande partie de l'Amérique latine et des Caraïbes, la plupart des pays d'Asie, notamment la Chine et le sud de l'Inde, et même dans certains pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord, comme le Liban, le Maroc et l'Iran.

Le vieillissement constitue un challenge au niveau économique car, à moins de reculer fortement l'âge de la retraite pour permettre aux seniors de continuer à travailler (ce qui présente de multiples bienfaits économiques), la part de la population en âge de travailler décroît tandis que celle des seniors dépendants augmente. Quand la population vieillit, les jeunes adultes sont moins nombreux et les dépenses sur les postes budgétaires importants (logement, mobilier, voitures, électroménager) diminuent. De plus, les personnes désireuses de prendre un risque entrepreneurial sont plus rares : en vieillissant, les actifs ont tendance à mettre de côté ce qu'il leur faut pour une retraite confortable plutôt que de se lancer à créer de nouvelles entreprises. Ce phénomène est en partie compensé par le fait que les personnes à la retraite tendent à liquider leur épargne, ce qui fait chuter les taux d'épargne et d'investissement.

Bien sûr, ces comportements peuvent changer, car les sociétés vieillissantes s'adaptent, mais elles connaissent d'ordinaire une croissance plus lente ; à moins que la révolution technologique ne déclenche une hausse majeure de la productivité (autrement dit la capacité à travailler plus intelligemment plutôt que de travailler toujours plus).

La Quatrième Révolution Industrielle nous permettra de vivre plus longtemps, en meilleure santé et plus actifs. Plus d'un quart des enfants nés aujourd'hui dans les économies avancées devraient atteindre l'âge de 100 ans : il est donc impératif de repenser des questions telles que la définition de la population en âge de travailler, les systèmes de retraites et la planification individuelle de la vie[16]. La difficulté manifeste de certains pays à aborder ces questions n'est qu'un indice supplémentaire de notre impréparation et de notre incapacité à anticiper les forces du changement.

La productivité

Au cours des dix dernières années, la productivité mondiale (qu'elle soit mesurée

comme productivité du travail ou comme productivité totale des facteurs, PTF) a progressé lentement, malgré la hausse exponentielle des progrès technologiques et des investissements dans l'innovation[17].

Ce dernier avatar du paradoxe de la productivité (le fait que l'innovation technologique ne semble pas entraîner une hausse de la productivité) est l'une des grandes énigmes économiques actuelles qui a précédé la crise économique et financière de 2008, et pour laquelle il n'y a pas d'explication satisfaisante.

Si l'on prend le cas des États-Unis, la productivité du travail a crû en moyenne de 2,8 % entre 1947 et 1983, et de 2,6 % entre 2000 et 2007, contre 1,3 % entre 2007 et 2014[18]. Cette baisse est due pour l'essentiel à une diminution de la PTF (mesure généralement admise de la contribution de la technologie et de l'innovation aux gains d'efficacité). Selon le Bureau of Labour Statistics du département américain du Travail, la croissance de la PTF n'était que de 0,5 % entre 2007 et 2014, en forte baisse par rapport à 1,4 % en moyenne annuelle sur la période 1995-2007[19]. Cette baisse de la productivité mesurée est d'autant plus préoccupante qu'elle a eu lieu tandis que les 50

plus importantes compagnies américaines accumulaient plus de 1 000 milliards de dollars en liquidités, malgré des taux d'intérêts réels oscillant autour de zéro pendant près de cinq ans[20].

La hausse de la productivité est le déterminant principal de la croissance à long terme et de la hausse du niveau de vie ; si la croissance ne revient pas, avec la Quatrième Révolution Industrielle, ces deux bénéfices seront réduits. Dès lors, comment concilier les données indiquant un déclin de la productivité avec les gains de productivité attendus dans le sillage des progrès exponentiels de la technologie et de l'innovation ?

Un argument central porte sur la difficulté de mesurer les facteurs entrants et sortants, et donc de discerner la productivité. Les biens et services innovants créés par la Quatrième Révolution Industrielle ont une fonctionnalité et une qualité bien meilleures, mais ils se situent sur des marchés radicalement différents de ceux que l'on mesure d'ordinaire.

Ces biens et services sont pour la plupart « non concurrentiels », ils ont un coût marginal nul et/ou parviennent, *via* des plateformes

numériques, à dominer des marchés très concurrentiels ; tous ces éléments sont facteurs de baisse des prix. Dans ces conditions, il se peut que nos statistiques traditionnelles soient inadaptées pour saisir les véritables gains, car le surplus du consommateur n'est reflété ni par le chiffre d'affaires global ni par une hausse des profits.

Hal Varian, économiste en chef de Google, cite divers exemples : grâce à la puissance de l'économie à la demande, il est désormais bien plus efficace de réserver un taxi ou louer une voiture *via* une application sur mobile. De nombreux autres services du même type permettent d'améliorer l'efficacité et donc la productivité. Pourtant, comme ils sont pour l'essentiel gratuits, la valeur qu'ils créent dans la vie privée et au travail ne peut être comptabilisée, d'où un écart entre la valeur fournie par un service donné et la croissance mesurée par les statistiques nationales. Cela laisse également entendre que nous produisons et consommons de manière plus efficace que ne le suggèrent nos indicateurs économiques[21].

Un autre argument est que, s'il se peut que les gains de productivité de la troisième révolution industrielle soient déclinants, le monde n'a pas

encore connu l'explosion de la productivité qui résultera de la vague de nouvelles technologies au cœur de la Quatrième Révolution Industrielle.

En optimiste pragmatique, je suis en effet convaincu que nous commençons à peine à ressentir l'impact positif potentiel de la révolution en cours sur le monde. Mon optimisme naît de trois sources principales.

Premièrement, cette Quatrième Révolution Industrielle offre l'occasion d'intégrer à l'économie mondiale les besoins non satisfaits de 2 milliards de personnes, qui viendront s'ajouter à la demande de produits et services existants en donnant un pouvoir d'initiative et en reliant les individus et les communautés du monde entier.

Deuxièmement, grâce à cette révolution, nous serons mieux à même de faire face aux externalités négatives, tout en stimulant la croissance économique potentielle. Citons par exemple une externalité négative majeure, les émissions de carbone.

Encore récemment, l'investissement vert n'était attractif que s'il était lourdement subventionné par les pouvoirs publics. Cela a cessé d'être vrai. Les progrès considérables dans

le domaine des énergies renouvelables, de l'efficacité énergétique et du stockage de l'énergie, rendent l'investissement plus rentable, ce qui stimule la croissance du PIB ; ces mêmes progrès contribuent en outre à freiner le changement climatique, l'un des problèmes actuels majeurs pour la planète.

Troisièmement, tous les responsables d'entreprises, les hommes politiques et les représentants de la société civile que je côtoie m'expliquent les difficultés qu'ils rencontrent pour amener leur organisation à tirer pleinement profit des gains d'efficacité permis par le numérique. Je reviendrai sur ce point dans la prochaine section. Nous sommes seulement à l'aube de la Quatrième Révolution Industrielle ; pour en saisir pleinement la valeur, il nous faudra créer des structures économiques et organisationnelles entièrement nouvelles.

Je considère en effet que les règles de compétitivité actuelles diffèrent de celles des périodes précédentes. Pour rester compétitifs, les entreprises et les pays doivent être à la pointe de l'innovation sous toutes ses formes : les stratégies centrées sur la réduction des coûts seront donc moins efficaces que la volonté d'offrir des produits et services plus innovants.

On voit aujourd’hui des entreprises bien établies soumises à une extrême pression par des « disrupteurs » et des innovateurs venus d’autres pays et d’autres secteurs. Le même sort attend les pays qui ne comprennent pas la nécessité de bâtir leurs écosystèmes d’innovation en conséquence.

En résumé, je pense que la conjonction de facteurs structurels (surendettement et sociétés vieillissantes) et systémiques (introduction des plateformes et de l’économie à la demande, importance accrue des coûts marginaux décroissants, etc.) va nous contraindre à récrire nos manuels d’économie. La Quatrième Révolution Industrielle a le potentiel à la fois de stimuler la croissance économique et de nous aider à affronter certains problèmes majeurs. N’oublions cependant pas les effets négatifs qu’elle pourrait avoir sur les inégalités, l’emploi et le marché du travail.

L’emploi

Tout en reconnaissant les bienfaits de la technologie pour la croissance économique, il faut être vigilant quant aux dommages possibles

sur le marché du travail. Les craintes concernant les effets de la technologie sur l'emploi ne sont pas nouvelles. En 1931, John Maynard Keynes annonçait déjà le risque d'un « chômage technologique » généralisé « dû au fait que nous découvrons des moyens d'économiser de la main-d'œuvre à une vitesse plus grande que nous ne savons trouver de nouvelles utilisations du travail humain[22] ». Peut-être allons-nous voir se matérialiser cette prédiction, qui jusqu'à présent ne s'était pas encore vérifiée. Le débat a repris récemment ; on observe que l'informatisation fait disparaître certains emplois : comptables, caissiers ou opérateurs téléphoniques.

J'ai déjà évoqué dans l'introduction les raisons pour lesquelles on peut s'attendre à ce que la nouvelle révolution technologique provoque des bouleversements sans précédent : vitesse (tout évolue plus vite que par le passé), envergure (multiples changements radicaux et simultanés), et transformation intégrale des systèmes dans leur ensemble.

Au regard de ces facteurs, une seule certitude : les nouvelles technologies transformeront radicalement la nature du travail, tous secteurs et toutes professions confondus. La

question fondamentale est de savoir à quel point l'automatisation se substituera au travail humain. Combien de temps cela va-t-il prendre et jusqu'où irons-nous ?

Pour comprendre ce processus, il nous faut admettre que la technologie exerce sur l'emploi deux effets opposés. Le premier est un effet de destruction : la disruption et l'automatisation induites par la technologie substituent du capital au travail, condamnant les salariés à devenir des chômeurs ou à aller vendre leurs compétences ailleurs. Inversement, cette destruction d'emplois s'accompagne d'un effet de capitalisation : l'accroissement de la demande de nouveaux biens et services entraîne la création de nouvelles professions, de nouvelles entreprises, voire de nouveaux secteurs d'activité.

Notre capacité d'adaptation et notre inventivité sont extraordinaires. Toutefois, le point clé est de connaître l'ampleur et le calendrier de ce rééquilibrage par lequel l'effet de capitalisation viendra compenser l'effet de destruction : combien de temps le processus de substitution prendra-t-il ?

La question de l'impact des technologies émergentes sur le marché du travail voit

s’affronter deux camps opposés : les optimistes pensent que la technologie annonce une nouvelle ère de prospérité et qu’en fin de compte tous les travailleurs victimes du chômage technologique retrouveront un emploi ; et les pessimistes qui prédisent l’avènement à terme d’une apocalypse sociale et politique, provoquée par un chômage technologique massif. L’histoire montre que le résultat se trouvera sans doute quelque part à mi-chemin. La question qui se pose est : que faire pour favoriser les effets positifs et aider les personnes affectées par la transition ?

Effectivement, l’innovation technologique a toujours entraîné des destructions d’emplois, compensées par des créations dans d’autres secteurs, et parfois dans des lieux différents. Prenons par exemple l’agriculture : aux États-Unis, au début du XIXe siècle, 90 % des actifs travaillaient la terre ; ils sont moins de 2 % aujourd’hui. Cet exode rural s’est déroulé sans trop de heurts, avec un minimum de perturbations sociales et de chômage endémique.

Le secteur des applications mobiles nous offre un bel exemple d’un nouvel écosystème. Il prend son envol en 2008, lorsque Steve Jobs, fondateur d’Apple, permet aux développeurs externes de créer des applications pour l’iPhone.

À la mi-2015, ce secteur a généré mondialement plus de 100 milliards de dollars de chiffre d'affaires, dépassant celui du cinéma, datant pourtant de plus d'un siècle.

Les techno-optimistes se demandent pourquoi la situation actuelle serait différente de ce que nous enseigne le passé. Pour eux, la technologie peut certes avoir des effets disruptifs, mais elle finit toujours par améliorer la productivité et accroître la richesse, ce qui stimule la demande de biens et de services, et donc la création de nouveaux emplois. L'argument est en substance : les besoins et désirs humains étant illimités, l'effort fourni pour les satisfaire doit également être illimité. En dehors des récessions normales et de crises occasionnelles, il y aura toujours du travail pour tous.

Quels éléments permettent d'étayer cette thèse ? Que nous enseignent-ils sur ce qui nous attend ? On observe déjà certains signes précurseurs d'une vague d'innovations annonçant de probables suppressions d'emplois dans nombre de secteurs et de professions pour les prochaines décennies.

Le remplacement du travail

L'automatisation a déjà touché de nombreuses catégories d'emplois, notamment pour les activités répétitives et spécialisées. À mesure de la croissance vertigineuse des puissances de calcul, d'autres emplois seront touchés. Bien plus vite que l'on ne l'anticipe en général, les tâches de professionnels aussi différents qu'avocats, analystes financiers, médecins, journalistes, comptables, assureurs ou encore bibliothécaires seront partiellement ou complètement automatisées.

À ce jour, tout indique que la Quatrième Révolution Industrielle créera moins d'emplois dans des secteurs nouveaux que les précédentes révolutions. Selon l'Oxford Martin Programme on Technology and Employment, seuls 0,5 % des actifs américains travaillent dans des secteurs qui n'existaient pas au tournant du siècle, taux bien inférieur aux quelque 8 % d'emplois nouveaux créés dans les nouveaux secteurs au cours des années 1980 et aux 4,5 % créés dans les années 1990. Ce point est corroboré par un récent recensement économique américain, qui apporte un éclairage intéressant sur la relation entre technologie et chômage. Il montre que les innovations dans les technologies de l'information et autres

technologies disruptives tendent à accroître la productivité en supprimant des emplois, au lieu de créer de nouveaux produits dont la production exigerait des créations d'emplois.

Deux chercheurs de l'Oxford Martin School, l'économiste Carl Benedikt Frey et l'expert en apprentissage automatique Michael Osborne, ont quantifié l'effet potentiel de l'innovation technologique sur le chômage en classant 702 professions différentes selon leur probabilité d'être automatisées, des moins exposées (« 0 », soit risque nul) à celles qui sont le plus exposées (« 1 », c'est-à-dire certitude absolue que le poste de travail sera remplacé par un ordinateur)[23]. Dans le tableau 2, je présente une liste de quelques professions hautement menacées par l'automatisation, et une liste des professions les moins exposées.

Au terme de ces travaux, on constate que, dans les dix ou vingt ans à venir, environ 47 % des emplois aux États-Unis sont menacés. On peut donc s'attendre à une vague de destruction d'emplois bien plus rapide et profonde que par le passé. Qui plus est, la tendance est à une polarisation accrue du marché du travail : les nouveaux emplois vont se concentrer dans les métiers intellectuels et créatifs à haut niveau de

salaire et dans les emplois manuels faiblement rémunérés. Les emplois routiniers à niveau de salaire moyen seront massivement détruits.

Tableau 2 – Exemples de professions les plus et les moins exposées à l'automatisation

Les plus exposées à l'automatisation

Probabilité	Profession
0,99	Professionnels du télémarketing
0,99	Conseillers fiscaux
0,98	Experts des assurances automobiles
0,98	Arbitres, juges-arbitres et autres officiels sportifs
0,98	Secrétaires juridiques
0,97	Serveurs et serveuses,

	restaurants, bars et cafés
0,97	Agents immobiliers
0,97	Entrepreneurs en main-d’œuvre agricole
0,96	Secrétaires et assistants administratifs, hors juridiques, médicaux et de direction
0,94	Coursiers et messagers

Les moins exposées à l’automatisation

Probabilité	Profession
0,0031	Travailleurs sociaux en santé mentale et traitement des addictions
0,0040	Chorégraphes
0,0042	Médecins et chirurgiens

0,0043	Psychologues
0,0055	Responsables Ressources humaines
0,0065	Analystes de systèmes informatiques
0,0077	Anthropologues et archéologues
0,0100	Ingénieurs et architectes navals
0,0130	Directeurs des ventes
0,0150	Cadres de direction

Source : Carl Benedikt Frey et Michael Osborne, Université d'Oxford, 2013.

On notera avec intérêt que ce ne sont pas seulement les capacités croissantes des algorithmes, robots et autres formes de capital non humain qui favorisent cette substitution. Michael Osborne observe qu'un facteur essentiel de l'automatisation tient à ce que, ces dernières années, les entreprises ont fait de gros efforts

pour simplifier et mieux définir les emplois, en cherchant à les externaliser, les délocaliser ou les faire exécuter sous forme de « travail numérique » (citons ainsi le service Mechanical Turk d'Amazon [MTurk ou AMT – en français, Turc mécanique d'Amazon], plateforme offrant la possibilité de faire réaliser des tâches professionnelles sur Internet). Avec cette simplification du travail, les algorithmes sont à même de remplacer plus facilement les humains : une division du travail plus poussée permet un meilleur suivi, et donc génère des données de meilleure qualité, fournissant une base solide pour le fonctionnement des algorithmes.

En considérant l'automatisation et les phénomènes de substitution, il faut résister à la tentation de pensées binaires concernant l'impact de la technologie sur l'emploi et l'avenir du travail. Comme le montrent Frey et Osborne, nous devons nous attendre, de façon quasi certaine, à un bouleversement des marchés du travail et des lieux de travail dans le monde entier. Cela n'implique pas pour autant que nous soyons confrontés à un dilemme de type « homme contre machine ». En fait, dans la majorité des cas, la fusion des technologies

numériques, physiques et biologiques permettra d'améliorer les capacités cognitives et le travail des humains ; c'est pourquoi les leaders doivent former la main-d'œuvre et développer des modèles d'éducation adéquats afin de travailler avec et sur des machines toujours plus puissantes, connectées et intelligentes.

L'impact sur les compétences

À plus ou moins brève échéance, les emplois les moins exposés au risque d'automatisation seront ceux qui exigent des compétences sociales et créatives, en particulier ceux qui nécessitent de prendre des décisions en situation d'incertitude et de développer des idées nouvelles.

Pourtant, même cela pourrait être de courte durée. Prenez par exemple l'une des professions les plus créatives, l'écriture, et l'arrivée de la génération automatisée de récits. Des algorithmes sophistiqués sont capables de créer des récits dans n'importe quel style adapté à un public donné. Le contenu paraît si humain qu'un récent questionnaire du *New York Times* a montré qu'à la lecture de deux textes similaires, il est impossible de dire lequel a été écrit par un

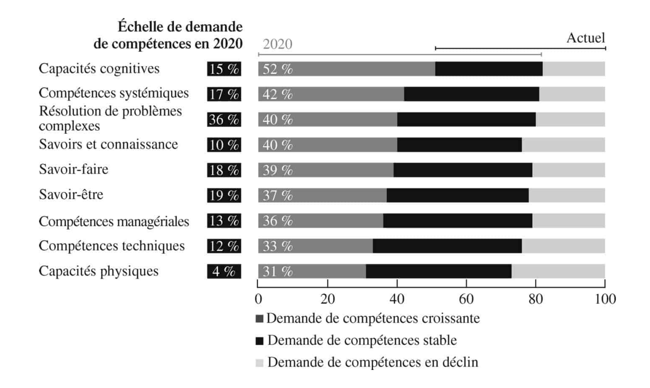
rédacteur humain et lequel par un robot. La technologie progresse si vite que Kristian Hammond, cofondateur de Narrative Science, entreprise spécialisée dans la génération automatisée de récits, prévoit que d'ici au milieu des années 2020, 90 % des informations pourraient être générées par un algorithme, pour l'essentiel sans aucune intervention humaine (hormis la conception de l'algorithme, bien sûr[24]).

Dans un environnement en mutation rapide, la capacité d'anticiper les tendances de l'emploi ainsi que les compétences requises pour s'adapter devient cruciale pour tous les acteurs en présence. Cette tendance varie selon les secteurs ou la situation géographique. Dans ce cas, il est d'autant plus important de comprendre les spécificités propres à chaque secteur et à chaque pays durant la Quatrième Révolution Industrielle.

Dans le rapport *The Future of Jobs* publié par le World Economic Forum en janvier 2016, nous avons demandé aux principaux responsables des ressources humaines des plus grands employeurs dans 10 secteurs et 15 pays d'imaginer l'impact de ces évolutions sur l'emploi, les métiers et les compétences jusqu'en 2020. Comme le montre

la figure 1, les personnes interrogées pensent qu'en 2020, les capacités de résolution de problèmes complexes, les compétences sociales et la maîtrise des systèmes seront bien plus recherchées que les capacités physiques ou les connaissances factuelles. D'après le rapport, les cinq années à venir s'annoncent comme une période de transition critique : les perspectives générales de l'emploi stagnent, mais il existe un turn-over notable, à la fois de métiers au sein d'un même secteur industriel, et de compétences au sein d'un même métier. Si l'équilibre vie professionnelle/vie privée et les salaires devraient s'améliorer légèrement pour la plupart des métiers, la sécurité de l'emploi devrait se dégrader dans la moitié des secteurs étudiés. Il est également clair que les femmes et les hommes ne seront pas affectés de la même manière, ce qui risque de renforcer les inégalités entre les sexes (voir encadré 1).

Figure 1 – La demande de compétences en 2020



Source : *The Future of Jobs*, Global Challenge Insight Report, World Economic Forum, janvier 2016.

Encadré 1

Les inégalités hommes-femmes et la Quatrième Révolution Industrielle

L'édition 2015 du *Global Gender Gap Report* (10e édition) du World Economic Forum révèle deux tendances préoccupantes. Premièrement, au rythme actuel, il faudra encore 118 ans avant

d'atteindre la parité économique entre hommes et femmes dans le monde. Ensuite, les progrès vers la parité sont très lents, voire nuls.

Face à ce phénomène, il est essentiel de comprendre l'impact de la Quatrième Révolution Industrielle sur les inégalités hommes-femmes. Comment les évolutions technologiques toujours plus rapides dans le monde physique, numérique et biologique affecteront-elles le rôle joué par les femmes dans l'économie, la vie politique et la société ?

L'une des questions centrales est de savoir si l'automatisation touchera davantage les professions dominées par les femmes ou par les hommes. Le rapport *The Future of Jobs* publié par le World Economic Forum montre que les deux genres subiront d'importantes pertes d'emploi. Par le passé, le chômage lié à l'automatisation touchait plutôt des secteurs à dominante masculine, comme la fabrication, la construction et le montage ; désormais, les capacités croissantes de l'intelligence artificielle et l'informatisation des tâches dans les

secteurs des services menacent une large palette d'emplois, depuis les centres d'appel dans les marchés émergents (source de revenu de nombreuses jeunes femmes, souvent les premières de leur famille à occuper un emploi salarié) jusqu'aux postes dans le commerce et l'administration dans les pays développés (secteur clé pour l'emploi des femmes de la classe moyenne).

Si perdre son emploi est en général un drame, la destruction massive d'emplois dans des secteurs qui ont traditionnellement permis aux femmes d'accéder au marché du travail est particulièrement préoccupante. Ce phénomène mettra particulièrement en péril les foyers monoparentaux dont les seules ressources sont apportées par une femme faiblement qualifiée. Il fera également baisser le revenu total des familles à deux revenus et creusera encore davantage dans tous les pays l'écart déjà problématique entre hommes et femmes.

Mais qu'en est-il de la création de nouveaux types d'emplois ? Quelles opportunités nouvelles se dessinent

pour les femmes sur ce marché du travail bouleversé ? Il est difficile de repérer les compétences et savoir-faire recherchés dans des secteurs qui n'existent pas encore, mais on peut présumer que la demande sera favorable aux personnes capables de concevoir, construire et travailler avec des systèmes technologiques, ou dans des domaines qui comblent les lacunes laissées par ces innovations technologiques.

Comme les professions liées à l'informatique, aux mathématiques et à l'ingénierie sont encore dominées par les hommes, la demande accrue de compétences techniques spécialisées pourrait aggraver encore les inégalités hommes-femmes. On pourrait en revanche assister à une hausse de la demande en matière d'emplois ne pouvant être accomplis par des machines et reposant sur des compétences et des caractéristiques proprement humaines, comme l'empathie et la compassion. Les métiers de psychologue, thérapeute, coach, organisateur d'événements, infirmière et autres métiers de la santé

restent encore majoritairement féminins.

La question clé est ici celle de la rémunération respective du temps et de l’effort pour des métiers nécessitant des savoir-faire différents ; il existe en effet un risque que les services à la personne et autres emplois majoritairement féminins demeurent à la fois peu valorisés et sous-payés. Si tel était le cas, on pourrait voir se creuser l’écart entre métiers masculins et métiers féminins. Cet effet serait d’autant plus négatif qu’il atteindrait à la fois les inégalités hommes-femmes et les inégalités en général, accentuant la difficulté pour les femmes de monnayer leurs talents sur le marché du travail. Cela menacerait également les bénéfices d’une diversité accrue et les bienfaits pour les organisations d’avoir des équipes mixtes, équilibrées, plus créatives et plus efficaces à tous niveaux. Bon nombre de compétences et de savoir-faire traditionnellement associés aux femmes et aux professions féminines feront l’objet d’une demande croissante à l’ère de la Quatrième Révolution Industrielle.

S’il est impossible de prédire l’impact spécifique de cette révolution sur chaque genre, il nous faut saisir l’occasion d’une économie en pleine transformation pour repenser les politiques de l’emploi et les pratiques des entreprises afin de donner aux salariés, hommes ou femmes, un pouvoir d’initiative.

À côté des facteurs proprement technologiques, des pressions de différentes natures (démographiques, géopolitiques, sociales et culturelles) contribueront à de nombreuses créations de postes et à l’émergence de nouveaux métiers. Ces mouvements sont aujourd’hui largement imprévisibles, mais j’ai la conviction que c’est le talent, plus que le capital, qui constituera le facteur de production essentiel. C’est donc la pénurie de main-d’œuvre qualifiée, plutôt que l’insuffisance en capital, qui risque d’entraver l’innovation, la compétitivité et la croissance.

Il pourrait en résulter un marché du travail sans cesse plus segmenté, avec d’un côté des travailleurs peu qualifiés à bas salaire, et de l’autre des travailleurs très qualifiés et bien

rémunérés ; comme le prédit Martin Ford, écrivain et entrepreneur dans la Silicon Valley[25], on risque de voir la base de la pyramide des compétences professionnelles s'évider entièrement, provoquant une montée des inégalités et des tensions sociales, à moins, bien entendu, d'anticiper ces changements dès aujourd'hui.

Ces pressions nous contraindront aussi à reconsidérer ce que nous entendons par « hautement qualifié » dans le contexte de la Quatrième Révolution Industrielle. Dans les définitions classiques, le travail qualifié suppose une formation avancée ou spécialisée et un ensemble de compétences définies dans une profession ou un domaine d'expertise. Face aux évolutions technologiques toujours plus rapides, les employés seront contraints de s'adapter en permanence et d'acquérir de nouvelles compétences et de nouvelles méthodes dans différents contextes.

L'étude intitulée *The Future of Jobs*, menée par le World Economic Forum, révèle aussi que moins de 50 % des directeurs des Ressources humaines ont confiance dans la politique de ressources humaines de leur entreprise destinée à anticiper ces changements. Les principaux

obstacles à une approche plus décisive sont liés au fait que les entreprises cernent mal la nature des changements disruptifs, n'alignent pas ou peu leur politique de ressources humaines sur leur stratégie d'innovation, sont prisonnières de contraintes concernant les ressources et soumises à des exigences de rentabilité à court terme. Il en résulte un décalage entre l'ampleur des bouleversements à venir et les mesures relativement marginales prises par les entreprises pour traiter ces problèmes. Les entreprises doivent changer de perspective pour attirer les talents dont elles ont besoin et atténuer les retombées sociales indésirables.

L'impact sur les économies en développement

Il est important de réfléchir à ce qu'impliquent ces changements pour les pays en développement. Des pans entiers de la population mondiale n'ont pas encore été confrontés aux effets des précédentes révolutions industrielles : des milliards d'individus sont encore privés de services et d'équipements qui semblent naturels dans les

économies développées, tels l'électricité, l'eau courante ou l'assainissement. La Quatrième Révolution Industrielle aura néanmoins un impact inévitable sur les économies en développement.

À ce stade, les effets de cette révolution ne se sont pas encore pleinement révélés. Ces dernières décennies, malgré une hausse des inégalités au sein des pays, la disparité entre pays a nettement reculé. La révolution industrielle inversera-t-elle cette tendance au resserrement des écarts entre les économies en termes de revenus, de compétences, d'infrastructure, de finance, etc. ? Ou bien saura-t-on maîtriser les effets rapides du changement technologique pour les mettre au service du développement et accélérer le processus de rééquilibrage ?

Ces questions délicates ne peuvent être ignorées, même si les économies les plus avancées sont préoccupées par leurs propres problèmes. Veiller à ce que des pans entiers de la population mondiale ne soient pas laissés pour compte n'est pas un impératif moral ; c'est un objectif stratégique majeur qui réduirait le risque d'instabilité globale provoquée par des défis géopolitiques tels que les flux migratoires.

Un scénario compliqué pour les pays à faible revenu serait que la Quatrième Révolution Industrielle provoque une vague majeure de « relocalisation » de la production vers les économies industrialisées, ce qui est tout à fait possible si l'accès à une main-d'œuvre bon marché cesse d'être l'un des moteurs de compétitivité des entreprises. Le développement d'un secteur manufacturier solide, desservant l'économie mondiale en tirant parti de ses avantages comparatifs, est une voie de développement éprouvée, qui permet aux pays d'accumuler du capital, d'obtenir des transferts de technologie et d'élever les niveaux de revenus. Si cette voie disparaît, de nombreux pays seront contraints de repenser leur modèle et leur stratégie d'industrialisation.

Comment les économies en développement sauront-elles tirer parti des opportunités de la Quatrième Révolution Industrielle ? Cette question est cruciale pour la planète et il est essentiel d'y consacrer davantage de recherches, afin de mieux comprendre la situation et de développer les stratégies nécessaires.

Le danger est que cette révolution instaure une dynamique de type « le gagnant rafle tout » (*winner takes all*) entre les pays et au sein de

chaque pays. Avec des tensions et des conflits sociaux exacerbés, le monde serait plus fragmenté, plus volatil ; or aujourd'hui l'opinion publique est devenue plus sensible aux injustices sociales et aux écarts de niveaux de vie entre pays. Si les leaders des secteurs public et privé ne parviennent pas à convaincre les citoyens qu'ils appliquent des stratégies crédibles pour le bien de tous, les troubles sociaux, les migrations de masse et l'extrémisme violent iront en s'intensifiant, menaçant les pays à toutes les étapes de leur développement. Le grand public doit être fermement convaincu qu'il peut subvenir à ses besoins en accomplissant un métier épanouissant. Mais que va-t-il se passer si la demande de travail est insuffisante, ou si les compétences disponibles ne correspondent plus à la demande ?

La nature du travail

Cette émergence d'un monde où le paradigme dominant de l'emploi se caractérise par une série de transactions entre un travailleur et une entreprise, plutôt que par une relation durable, Daniel Pink l'a décrite il y a 15 ans dans son

livre *Free Agent Nation*[26]. L'innovation technologique n'a fait qu'accélérer cette tendance.

Aujourd'hui, l'« économie à la demande » bouleverse entièrement notre rapport au travail et le tissu social dans lequel il s'intègre. Les employeurs sont de plus en plus nombreux à recourir au « nuage humain » (*human cloud*) pour accomplir toutes sortes de tâches. Chaque activité est découpée en missions précises et en projets distincts avant d'être envoyée sur un *cloud* à destination d'individus disposés à faire le travail n'importe où dans le monde.

Nous sommes là en présence de la nouvelle économie à la demande, où les personnes qui proposent leur force de travail ne sont plus des salariés au sens classique, mais des travailleurs indépendants qui accomplissent des tâches précises. Comme l'explique Arun Sundararajan, professeur à la Stern School of Business de la New York University (NYU), dans les colonnes du *New York Times* au journaliste Farhad Manjoo : « Il se peut qu'à l'avenir, une partie de la main-d'œuvre gagne sa vie en proposant une gamme de compétences diversifiées : on sera à la fois chauffeur pour Uber, livreur pour Instacart, on louera une chambre de son

appartement sur Airbnb et on travaillera pour Taskrabbit[27]. »

Pour les entreprises, et notamment pour les start-up du numérique, les avantages sont évidents. Les plateformes de *human cloud* considérant les travailleurs comme indépendants, elles sont (pour le moment) exemptées de payer un salaire minimum, des cotisations salariales et sociales. Daniel Callaghan, PDG de la société britannique MBA & Company, explique dans un article du *Financial Times* : « Maintenant, c'est : qui vous voulez, quand vous voulez, exactement comme vous voulez. Et comme ce ne sont pas des salariés, on n'a pas à s'occuper de toutes les tracasseries et réglementations salariales[28]. »

Pour les personnes qui participent au *cloud*, les principaux avantages sont la liberté (de travailler ou non) et l'inégalable mobilité que procure l'appartenance à un réseau virtuel global. Pour certains travailleurs indépendants, c'est la combinaison idéale, plus de liberté, moins de stress et une plus grande satisfaction au travail. Ce principe de *human cloud* est encore balbutiant, mais les preuves concrètes s'accumulent, montrant qu'il permet une délocalisation silencieuse (silencieuse parce que

les plateformes de *human cloud* ne sont pas cotées en Bourse et n'ont pas à divulguer leurs données).

Assiste-t-on au début d'une nouvelle révolution du travail flexible, qui donnera le pouvoir d'initiative à toute personne disposant d'une connexion à Internet et mettra fin à la pénurie de compétences ? Ou bien verra-t-on se déclencher une inexorable course au moins-disant, dans un monde d'ateliers clandestins (virtuels), sans aucune contrainte réglementaire ?

Supposons que la seconde hypothèse soit vérifiée : on verra alors émerger une classe de travailleurs précaires jonglant avec les tâches et les emplois pour joindre les deux bouts, sans protection juridique, ni droits syndicaux, ni sécurité de l'emploi. Allons-nous assister à des mouvements sociaux importants assortis d'instabilité politique ? Enfin, le développement du *human cloud* ne risque-t-il pas simplement d'accélérer l'automatisation des emplois et la déshumanisation ?

Nous sommes face à un défi : il s'agit d'inventer de nouvelles modalités du contrat social et du contrat de travail adaptées à l'évolution de la main-d'œuvre et de la nature du

travail. À nous de limiter les risques d’exploitation liés au *human cloud*, sans entraver la croissance du marché du travail ni empêcher les gens de travailler comme ils l’entendent. Sinon, la Quatrième Révolution Industrielle pourrait augurer d’un avenir sombre pour le travail, comme l’expose Lynda Gratton, professeure de management à la London Business School dans son livre *The Shift: The Future of Work is Already Here* (« Le basculement: L’avenir du travail est déjà là », non traduit) – avec une augmentation des niveaux de fragmentation, de l’isolement et de l’exclusion dans les sociétés[29].

Comme je ne cesse de le répéter tout au long de ce livre, la balle est dans notre camp. Tout dépend des décisions politiques et institutionnelles que nous prendrons. Toutefois, n’oublions pas qu’un retour en force des réglementations est toujours possible ; en revenant dans le processus, les décideurs politiques pourraient provoquer une distorsion des forces d’adaptation dans un système complexe.

L’importance du sens du travail

D’autre part, tout n’est pas uniquement affaire de talent et de compétences. Nous attendons d’abord de la technologie une meilleure efficacité. Nous voulons aussi sentir que nous ne sommes pas seulement un rouage passif d’un mécanisme, mais que nous faisons partie d’un tout plus grand que nous. Karl Marx redoutait déjà que le processus de spécialisation ne réduise ce sentiment que le travail est une raison d’être ; Richard Buckminster Fuller nous met lui aussi en garde contre la surspécialisation qui risque « de fermer les vannes des recherches ambitieuses nous détournant ainsi d’explorer plus avant la toute-puissance des principes généraux[30]. »

À présent, dans un monde toujours plus complexe et hyperspécialisé, cette quête d’un accomplissement est une question cruciale, en particulier pour les personnes de la jeune génération, qui trouvent souvent que les emplois les empêchent de donner un sens à leur vie. Face au brouillage des frontières et aux évolutions des aspirations, les gens cherchent non seulement un équilibre, mais aussi une intégration harmonieuse de leur vie personnelle et professionnelle. Je crains fort qu’à cet égard le

travail de l'avenir n'apporte satisfaction qu'à une minorité.

Les entreprises

L'évolution des modèles de croissance, des marchés de l'emploi et de la nature du travail affecte toutes les organisations ; pourtant, au-delà de cela, on constate que les technologies sous-jacentes à la Quatrième Révolution Industrielle bouleversent les modes de gestion, d'organisation et de recrutement dans les entreprises. Symptôme essentiel de ce phénomène, la baisse historique de la durée de vie moyenne des entreprises classées à l'indice S&P 500 (qui recense les 500 plus grandes sociétés cotées sur les bourses américaines), qui passe de 60 à 18 ans environ[31]. Autre symptôme, le temps toujours plus court que mettent les nouveaux entrants à dominer les marchés et à franchir certains paliers de rentabilité. Facebook a mis six ans pour atteindre 1 milliard de dollars de recettes par an, et Google à peine cinq ans. Cela ne fait aucun doute : avec les technologies émergentes, qui s'appuient presque toutes sur la puissance croissante du numérique, les

entreprises doivent s'adapter à des transformations toujours plus rapides et profondes.

Ce point vient corroborer un thème récurrent de mes conversations avec les PDG et cadres de direction d'entreprises mondiales, à savoir la difficulté d'appréhender et d'anticiper le déluge d'informations disponibles, la rapidité de la disruption et l'accélération de l'innovation. On va de surprise en surprise. Dans ce contexte, les leaders de demain seront ceux qui feront preuve en permanence de leur capacité à apprendre, s'adapter et remettre en cause leurs modes de pensée et de fonctionnement.

Face aux répercussions de la révolution en cours, l'impératif premier pour chaque dirigeant est donc d'analyser ses capacités et celles de son organisation. L'entreprise et sa direction ont-elles fait la preuve de leur capacité à apprendre et à évoluer ? Ont-elles déjà été en mesure de réaliser un prototype ou de prendre une décision d'investissement très rapidement ? La culture d'entreprise accepte-t-elle l'innovation et l'échec ? Tout ce que j'ai pu observer tend à indiquer que le mouvement va s'accélérer, que les changements seront radicaux et qu'aucune entreprise ne pourra se dispenser d'un examen

rigoureux de sa capacité à agir de manière rapide et agile.

Les sources de disruption

La disruption naît de multiples sources et affecte les entreprises de plusieurs manières. Du côté de l'offre, nombre de filières sont bouleversées par l'émergence de technologies nouvelles qui offrent des solutions innovantes pour répondre aux besoins existants. Par exemple, dans l'énergie, les nouvelles technologies de réseau et de stockage accéléreront la transition vers des sources décentralisées. La généralisation de l'impression en 3D facilitera la fabrication distribuée et la gestion des pièces détachées. L'information en temps réel ouvrira des perspectives originales sur les consommateurs et la performance des actifs qui stimuleront d'autres évolutions technologiques.

La disruption, ce sont aussi des concurrents agiles et innovants qui, à l'aide de plateformes numériques globales de recherche, développement, marketing, ventes et distribution, parviennent plus vite que jamais à dépasser les acteurs en place, par un gain sur la

qualité, la rapidité ou le prix de leurs services. C’est pourquoi, pour nombre de dirigeants, la menace principale provient de concurrents encore inconnus. Pourtant, on aurait tort de croire que seules les start-up sont capables de créer de la disruption. Avec la numérisation, de grands opérateurs historiques peuvent maintenant s’appuyer sur leur clientèle, leurs infrastructures ou leur technologie pour enjamber les barrières sectorielles. On voit ainsi des opérateurs de télécommunications se lancer dans les domaines de la santé ou de l’automobile. Utilisée intelligemment, la taille peut encore être un avantage concurrentiel.

Côté demande, la disruption est aussi à l’œuvre : exigence accrue de transparence, participation du consommateur et nouveaux modes de consommation (de plus en plus liés à l’accès aux réseaux mobiles et aux données) contraignent les entreprises à adapter leur manière de concevoir, commercialiser et distribuer leurs produits et services, nouveaux ou anciens.

Dans l’ensemble, je vois dans le mouvement actuel des entreprises le passage inexorable de la simple informatisation (propre à la troisième révolution industrielle) à une forme d’innovation

plus complexe basée sur la combinaison innovante de technologies multiples. Toutes les entreprises sont acculées à revoir leur mode de fonctionnement d'une manière ou d'une autre : pour certaines, la conquête de nouvelles frontières passe par le développement d'activités sur des segments adjacents ; pour d'autres, elle consiste à identifier les mutations de valeur au sein de secteurs existants.

Le fond du problème reste toutefois le même. Dirigeants et cadres doivent comprendre que la disruption affecte leur activité sur le versant de l'offre aussi bien que sur celui de la demande. C'est pourquoi ils doivent à leur tour remettre en cause les présupposés de leurs équipes et découvrir de nouvelles manières de procéder. En un mot, ils doivent innover en permanence.

Quatre impacts majeurs

Dans tous les secteurs, la Quatrième Révolution Industrielle a quatre effets principaux sur les entreprises :

– les attentes des clients évoluent ;

– les produits sont enrichis par des données, d'où une meilleure productivité des actifs ;

– de nouveaux partenariats sont mis en place, car les entreprises comprennent l'importance de nouvelles formes de collaboration ;
– les modèles de fonctionnement sont transformés en nouveaux modèles numériques.

Les attentes des clients

Les clients, qu'il s'agisse de particuliers (B2C) ou d'entreprises (B2B), sont de plus en plus au centre de l'économie numérique, tout entière axée sur leur service. Les attentes des consommateurs sont redéfinies en expériences. Prenons l'exemple d'Apple, qui ne vend pas seulement la consommation d'un produit, mais aussi l'emballage, sa marque, ses points de vente, son SAV : Apple redéfinit les attentes du client pour y inclure l'expérience du produit.

Des méthodes traditionnelles de segmentation démographique, on passe au ciblage par des critères numériques qui identifient les clients potentiels à partir de leur volonté de partager leurs données et d'interagir. Avec le passage de la possession à l'accès partagé (notamment en

ville), le partage des données sera un élément indispensable de la proposition de valeur. Par exemple, le partage de véhicules exigera l'intégration des données personnelles et financières de nombreuses entreprises sur plusieurs secteurs : automobile, réseaux, communications et banque.

Les entreprises aiment presque toutes à se proclamer centrées sur le client, mais leurs prétentions seront mises à l'épreuve lorsque les données et analyses permettront de voir en temps réel comment elles ciblent et servent leurs clients. À l'ère du numérique, la réussite tient à la capacité à obtenir et utiliser les données, affiner les produits et les expériences ; il s'agit d'entrer dans une dynamique d'ajustement et de perfectionnement continus, tout en gardant la dimension humaine de l'interaction au centre du processus.

En combinant les données de multiples sources – personnelles, industrielles, portant sur le mode de vie ou les comportements –, on peut désormais avoir une vision très fine du parcours d'achat du consommateur, avec une précision inconcevable il y a peu. Aujourd'hui, les données et indicateurs livrent, presque en temps réel, des informations cruciales sur les besoins et

comportements du consommateur, qui permettent de prendre des décisions marketing.

Cette tendance au tout-numérique pousse vers davantage de transparence, avec plus de données dans la chaîne logistique, plus de données à la portée du consommateur, il devient plus facile de comparer les performances des produits et le pouvoir passe aux mains des consommateurs. Par exemple, avec les comparateurs en ligne, il est facile de comparer les prix, la qualité du service et la performance du produit. D'un clic ou d'un geste du doigt, le consommateur passe instantanément d'une marque, d'un service ou d'un site de vente à l'autre. Pour l'entreprise, plus moyen d'échapper à ses responsabilités si le produit ou le service ne sont pas performants ou adaptés. L'image de marque est un trophée chèrement acquis et aisément perdu. Dans un monde plus transparent, cette règle ne sera que plus inflexible.

Pour l'essentiel, la « génération du millénaire » (ou génération Y) fixe les tendances de la consommation. Dans cet univers « à la demande », 30 milliards de messages WhatsApp sont envoyés chaque jour[32], 87 % des jeunes Américains déclarent que leur smartphone ne les quitte jamais et 44 % utilisent la fonction

appareil photo chaque jour[33]. Le partage se fait avant tout en « pair à pair » (*peer-to-peer*, P2P) et les contenus sont générés par les utilisateurs. On est dans l'instantané, on connaît en direct l'état de la circulation, vos courses sont livrées à domicile dans les minutes qui suivent la commande. Avec ce système du « tout, tout de suite », les entreprises doivent réagir en temps réel, où qu'elles se trouvent et où que puissent être leurs clients.

Il serait erroné de croire que ce phénomène est limité aux pays riches. Prenons par exemple les achats en ligne en Chine. Le 11 novembre 2015, déclaré « Fête des célibataires » par le groupe Alibaba, le site de e-commerce a traité plus de 14 milliards de dollars de transactions en ligne, dont 68 % des ventes effectuées sur mobiles[34]. Autre exemple : l'Afrique subsaharienne est la région qui connaît la croissance la plus rapide en termes d'abonnements de téléphonie mobile, ce qui démontre comment l'Internet mobile court-circuite l'accès depuis des postes fixes. La GSM Association attend 240 millions d'internautes sur mobile supplémentaires d'ici cinq ans dans la région[35]. D'autre part, si le taux de pénétration des réseaux sociaux est maximal dans les pays

avancés, l’Asie de l’Est et du Sud-Est et l’Amérique centrale sont au-dessus de la moyenne mondiale de 30 % et en croissance rapide. En 2015, WeChat (Weixin), service chinois de messagerie texte et voix sur mobile, a gagné quelque 150 millions d’usagers en à peine 12 mois, soit une croissance annuelle d’au moins 39 %[36].

Les produits augmentés

Les nouvelles technologies transforment la manière dont les entreprises perçoivent et gèrent leurs actifs : les produits et services sont désormais enrichis de fonctions numériques qui accroissent leur valeur. Ainsi, avec ses mises à jour et sa connectivité par ondes hertziennes, Tesla démontre que l’on peut améliorer un produit (une voiture) après achat, plutôt que de la laisser se déprécier au fil du temps.

Non seulement les nouveaux matériaux rendent les biens d’équipement plus durables et plus résilients, mais les données et l’analyse transforment le rôle de la maintenance. Les analyses fournies par les capteurs placés sur les objets permettent un suivi permanent et une

maintenance proactive, ce qui maximise leur utilisation. Il ne s’agit plus de détecter telle ou telle panne, mais plutôt d’utiliser les indicateurs de performance (basés sur les données fournies par les capteurs et gérés par des algorithmes) pour savoir quand un équipement sort de sa plage de fonctionnement normal.

Par exemple, sur les avions, les centres de contrôle savent avant les pilotes si le moteur d’un appareil donné est défectueux. Ils peuvent ainsi indiquer au pilote ce qu’il doit faire et mobiliser par avance l’équipe de maintenance à l’aéroport de destination.

Outre la maintenance, la capacité à prédire la performance d’un équipement permet la création de nouveaux business models. On peut mesurer et surveiller la performance d’un équipement au cours du temps ; l’analyse des données permet de voir quelles sont les tolérances de fonctionnement, qui servent de base pour l’externalisation de produits qui ne sont pas au cœur du métier ou stratégiques pour l’entreprise. On voit par exemple SAP utiliser les données des équipements agricoles pour améliorer leur temps de fonctionnement et leur utilisation.

La capacité de prédire la performance d’un équipement offre également de nouveaux

moyens de fixer le prix des services. Le prix des équipements à fort taux d'utilisation, comme les ascenseurs ou les escalators, peut être fixé en fonction de leur performance, et les prestataires de service peuvent être payés en fonction de l'utilisation effective de l'équipement au regard d'un seuil de 99,5 % de temps d'utilisation sur une période donnée. Prenons le cas des flottes de camions : pour les transporteurs longue distance, il est intéressant de payer les fabricants de pneus par millier de kilomètres parcourus plutôt que d'acheter périodiquement des pneus neufs. En effet, en combinant l'utilisation de capteurs et l'analyse des données, les fabricants de pneus peuvent suivre la performance des chauffeurs, la consommation de carburant et l'usure des pneus pour offrir un service complet de bout en bout.

L'innovation collaborative

Dans un monde où les clients recherchent des expériences, où les services s'appuient sur des données et où l'analyse des données permet de tout surveiller, de nouvelles formes de collaboration sont nécessaires, notamment en raison de la vitesse à laquelle se produisent

l’innovation et la disruption. C’est vrai pour les opérateurs historiques, mais aussi pour les sociétés jeunes et dynamiques. Si les premiers manquent de compétences de pointe et sont moins sensibles à l’évolution des besoins des consommateurs, les secondes font souvent face à une pénurie de capitaux et n’ont pas la richesse des données générées par des opérations plus matures.

Comme l’indique le rapport *Collaborative Innovation: Transforming Business*, Driving Growth publié par le Forum, en mettant en commun leurs ressources par l’innovation collaborative, les entreprises peuvent créer une valeur intéressante pour les deux parties, comme pour l’économie des pays concernés. Citons par exemple la récente collaboration entre Siemens, géant industriel qui dépense quelque 4 milliards de dollars par an en recherche et développement, et Ayasdi, entreprise innovante spécialisée dans l’apprentissage machine, fondée en 2008 à l’Université Stanford et nommée Technology Pioneer par le Forum. Grâce à ce partenariat, Siemens dispose d’un allié capable de l’aider à résoudre les problèmes complexes liés à l’extraction d’informations de vastes ensembles de données, tandis qu’Ayasdi peut valider sa

méthode d’analyse topologique des données sur des cas réels, tout en renforçant sa présence sur le marché.

Bien souvent, pourtant, ces collaborations ne vont pas de soi. Elles exigent de la part des deux parties un gros investissement pour élaborer une stratégie, trouver un partenaire adapté, mettre en place des canaux de communication, aligner les processus de travail et être capables de réagir avec souplesse à l’évolution des conditions, au sein du partenariat comme à l’extérieur. Il arrive que de telles collaborations donnent naissance à un business model entièrement nouveau, comme les systèmes d’autopartage en ville, qui font travailler ensemble des entreprises de divers secteurs pour apporter au client un service unique. La présence d’un seul maillon faible peut compromettre le partenariat tout entier. Les entreprises doivent aller bien au-delà des accords de marketing et de vente, et comprendre comment adopter des approches collaboratives intégrées. La Quatrième Révolution Industrielle contraint les entreprises à se demander comment le monde réel et le monde virtuel coexistent dans la pratique.

De nouveaux modèles de fonctionnement

Ces différentes tendances obligent l'entreprise à repenser son mode opératoire et, en même temps, à s'adapter à un mode de fonctionnement plus agile. Elle est ainsi contrainte de réviser sa planification stratégique.

Soulignons un fait marquant, déjà évoqué plus haut : le développement de plateformes, permis par la numérisation et les effets de réseaux. Si la troisième révolution industrielle a vu l'émergence de plateformes purement numériques, on observe, avec la révolution suivante, l'apparition de plateformes globales, étroitement connectées avec le monde physique. La stratégie de plateforme est à la fois source de profit et de disruption. Les travaux de la Sloan School of Management du MIT montrent qu'en 2013, 14 des 30 premières capitalisations boursières étaient celles d'entreprises de type plateforme[37].

Les stratégies de plateforme, combinées à la nécessité d'être centré sur le client et de valoriser le produit avec des données, conduisent nombre de secteurs à changer d'activité

principale : de la vente de produits on passe à la prestation de services. De plus en plus, le consommateur ne désire plus acheter et posséder des biens matériels, et préfère payer pour un service distribué *via* une plateforme numérique. On peut ainsi accéder à des milliards de livres au format numérique sur la boutique Kindle d'Amazon, écouter pratiquement n'importe quelle musique sur Spotify ou se connecter à une plateforme d'autopartage, qui assure la mobilité sans être propriétaire d'un véhicule. Ce changement majeur favorise des modèles économiques d'échange de valeur plus transparents et plus écologiques. En même temps, il nous oblige à remettre en cause notre définition de la propriété, à considérer comment organiser et traiter des contenus illimités, et quel type d'interaction inventer avec ces plateformes sans cesse plus puissantes qui offrent des services à grande échelle.

Les travaux du programme *Digital Transformation of Industry* (numérisation de l'industrie) du World Economic Forum mettent en évidence plusieurs autres business models et modèles opérationnels conçus pour tirer profit de la Quatrième Révolution Industrielle. Citons entre autres l'« orientation client » évoquée plus

haut : ainsi Nespresso, qui concentre ses efforts sur le contact clientèle et incite le personnel à faire passer le client avant tout. Le « management frugal » entend tirer parti des possibilités offertes par l'interaction entre les mondes numérique, physique et humain pour développer de nouvelles formes d'optimisation : tel Michelin, qui cherche à offrir des services de haute qualité à bas prix.

Un business model fondé sur les données saura tirer parti des précieuses informations recueillies auprès des consommateurs dans un contexte plus large pour créer de nouvelles sources de profit ; de plus en plus, il s'appuie sur l'analyse des données et sur l'intelligence logicielle pour dégager de nouvelles perspectives. Les entreprises « ouvertes et liquides » savent s'inscrire dans un écosystème fluide de création de valeur, tandis que les entreprises « à la Skynet » se concentrent sur l'automatisation, qui se généralise dans les industries et sur les sites à risque. On ne compte plus les cas d'entreprises qui basculent vers un business model axé sur l'usage des nouvelles technologies pour utiliser plus efficacement les flux matériels et l'énergie, économisant les

ressources, diminuant les coûts, avec un impact positif sur l’environnement (voir encadré 2).

Face à tous ces changements, les entreprises seront contraintes d’investir lourdement dans la sécurisation des données afin d’éviter que le système ne soit attaqué directement par des criminels ou des militants, ou involontairement, par suite de failles, dans les infrastructures informatiques. On évalue à environ 500 milliards de dollars le coût annuel des cyberattaques pour les entreprises. Les cas de Sony Pictures, TalkTalk, Target et Barclays montrent qu’une fuite de données sensibles pour l’entreprise ou pour ses clients entraîne une chute de la valeur boursière. C’est pourquoi Bank of America Merrill Lynch prédit l’essor du marché de la cybersécurité, qui devrait au minimum doubler, passant d’environ 75 milliards de dollars en 2015 à 170 milliards d’ici 2020, soit un taux de croissance annuel supérieur à 15 % sur les cinq années à venir[38].

Avec les modes de fonctionnement émergents, les notions de talent et de culture doivent également être repensées, compte tenu des nouveaux besoins en compétences et de l’impératif d’attirer et de retenir le capital humain adéquat. Dans tous les secteurs, les

données sont à présent au cœur de la prise de décision et des modèles de fonctionnement, ce qui demande de nouvelles compétences ; une modernisation du processus de production s'impose (notamment pour tirer profit de l'information en temps réel) et les cultures doivent évoluer.

Les entreprises, on l'a vu, devront s'adapter au concept du « talentisme », un important facteur de compétitivité. Dans un monde où le talent est l'avantage stratégique majeur, il faut repenser les structures organisationnelles. Pour les entreprises, la réussite tient à de nouveaux facteurs clés : hiérarchies flexibles, nouvelles manières de mesurer et de récompenser les performances, stratégies innovantes pour attirer et retenir les talents et les compétences. L'agilité d'une entreprise viendra autant de la motivation et de la communication de ses employés que de sa capacité à fixer les priorités et à gérer les équipements.

Selon moi, pour réussir, les entreprises devront passer d'une structure hiérarchique à des modèles connectés et collaboratifs. La motivation sera plus intériorisée, mue par le désir commun des salariés et des cadres de parvenir ensemble à un meilleur contrôle et à

davantage d’indépendance et de sens. On peut en déduire que les entreprises s’organiseront de plus en plus autour d’équipes diversifiées, de télétravailleurs, de collectifs dynamiques, avec un échange continu des données et des idées sur les sujets ou les tâches à traiter.

On voit émerger un scénario d’organisation du travail qui reflète ces changements ; il s’appuie sur le développement rapide des technologies portables associées à l’Internet des objets, qui permet progressivement aux entreprises de combiner expériences numériques et matérielles pour le bien des salariés et des consommateurs. Par exemple, des salariés opérant avec un équipement très complexe ou dans des situations difficiles peuvent avoir recours à des appareils portables pour concevoir ou réparer des composants. Grâce aux téléchargements et aux mises à jour des équipements connectés, on est sûr que les employés et le matériel qu’ils utilisent sont bien en phase avec les développements les plus récents. Dans ce monde de la Quatrième Révolution Industrielle, où les logiciels et les données sont mis à jour *via* le *cloud*, il est essentiel que les compétences humaines soient elles-mêmes à jour.

Combiner les mondes numérique, physique et biologique

Les entreprises capables de combiner plusieurs dimensions – numériques, physiques et biologiques – réussissent souvent à bouleverser un secteur tout entier, avec ses systèmes de production, de distribution et de consommation.

La popularité de Uber dans de nombreuses villes est essentiellement due au fait que l'on a su améliorer l'expérience client : suivi du véhicule sur une application mobile, description des caractéristiques du véhicule et mode de paiement direct, permettant d'arriver à destination dans les meilleurs délais. L'expérience a été améliorée et intégrée au produit matériel (transport d'une personne du point A au point B) en optimisant l'utilisation de l'équipement (la voiture, propriété du conducteur). Dans ces cas-là, les opportunités numériques ne se traduisent pas simplement par une qualité plus élevée ou un coût inférieur, mais entraînent un changement fondamental du business model, fondé sur une approche globalisante du service, de la commande à l'exécution.

Ces business models organisés autour d'une combinaison de services illustrent l'importance de la disruption qui se produit quand on associe des équipements numériques avec diverses plateformes pour réorganiser le rapport aux équipements matériels (avec un glissement notable de la propriété à l'usage). Sur ces marchés, aucune entreprise ne possède les actifs : le conducteur est propriétaire de son véhicule et le met à disposition ; le propriétaire de l'appartement met à disposition une chambre. Dans les deux cas, l'avantage concurrentiel repose sur une expérience utilisateur améliorée, associée à une réduction des coûts de transaction et de friction. En outre, en permettant de simplifier et d'accélérer la rencontre de l'offre et de la demande, ces entreprises parviennent à supplanter le business model des opérateurs en place.

Progressivement, cette approche remet en cause la position d'entreprises bien établies et brouille les frontières entre secteurs. De nombreux dirigeants prévoient que, dans les trois à cinq années à venir, leur entreprise subira les effets de cette convergence entre secteurs[39]. Une fois qu'un client a établi une relation de confiance et laissé des traces de son passage sur

la plateforme, le fournisseur numérique n'a aucun mal à lui proposer d'autres produits et services.

L'évolution rapide de la concurrence entraîne la désintégration de « silos » sectoriels et des filières en place ; elle vient également court-circuiter la relation existante entre l'entreprise et ses clients. Les nouveaux venus « disrupteurs » peuvent rapidement monter en puissance à un niveau de coût nettement inférieur, générant ainsi, par effet de réseau, une croissance rapide de leurs revenus financiers. Le cas d'Amazon, simple libraire en ligne devenu géant du e-commerce au chiffre d'affaires annuel de 100 milliards de dollars, montre bien comment la fidélisation des clients, associée à une compréhension de leurs préférences et à une organisation efficace permet de développer la vente dans des domaines variés. Il démontre aussi l'importance des économies d'échelle.

Dans presque tous les domaines, les technologies numériques ont conduit à inventer des manières radicalement nouvelles de combiner produits et services, estompant au passage les frontières sectorielles traditionnelles. Dans l'automobile, les voitures sont devenues des ordinateurs sur roues : l'électronique

représente environ 40 % du prix du véhicule. Quand Apple et Google décident d'investir le marché automobile, cela prouve que désormais une entreprise de haute technologie peut devenir un constructeur automobile. À l'avenir, à mesure que l'électronique représentera une part croissante de la valeur ajoutée, la technologie et le logiciel pourraient se révéler stratégiquement plus payants que la construction du véhicule proprement dite.

Le secteur de la finance passe par une phase analogue de changement radical. Les plateformes de P2P (*peer-to-peer*) viennent abolir les barrières à l'entrée et font chuter les coûts. Dans le domaine de l'investissement, les nouveaux algorithmes de « robot-conseil » et les applications correspondantes dispensent des services de consultation et des outils de gestion à bas prix – 0,5 % au lieu de 2 % – mettant ainsi en péril un segment entier de la finance traditionnelle. D'autre part, il est clair que la blockchain va sous peu révolutionner le domaine car ses applications financières ont virtuellement la capacité de réduire les coûts de règlement et de transaction de 20 milliards de dollars et de bouleverser le fonctionnement dans ce secteur.

La technologie des bases de données partagées permettra de rationaliser diverses activités, telles que le stockage des comptes clients, les transactions transfrontalières, ainsi que des produits et des services qui n'existent pas encore à ce jour, comme les contrats à terme automatisés qui peuvent s'exécuter d'eux-mêmes sans l'intervention d'un trader (par exemple, des dérivés de crédits versés automatiquement dès qu'un pays ou une entreprise fait défaut).

Le secteur de la santé est lui aussi confronté à un défi : assimiler les progrès technologiques simultanés dans les domaines de la physique, de la biologie et du numérique ; ainsi, les dernières évolutions en matière de diagnostic et de traitement arrivent en même temps que les efforts pour numériser les dossiers médicaux et exploiter les gros volumes d'informations recueillies par les appareils portables et les implants connectés.

Certains domaines sont plus touchés que d'autres par cette disruption, mais tous sont affectés par la dynamique sous-jacente à la Quatrième Révolution Industrielle. On note des différences dépendant du secteur et du profil démographique de la clientèle. Pourtant, dans un

monde caractérisé par l’incertitude, la capacité d’adaptation est essentielle – si une entreprise est incapable de suivre le mouvement, elle risque d’être éliminée.

Pour survivre ou prospérer, les entreprises seront condamnées à entretenir et consolider en permanence leur avantage concurrentiel. Entreprises, multinationales, secteurs entiers seront soumis à une pression darwinienne continue : la mentalité du « toujours en version bêta » (toujours en évolution) se répand. Cela suggère que le nombre global d’entrepreneurs et d’« intrapreneurs » (cadres salariés qui deviennent entrepreneurs) augmente. Les petites et moyennes entreprises auront l’avantage de la rapidité et de l’agilité requises pour affronter la disruption et l’innovation.

Les grandes structures, en revanche, pourront survivre grâce aux économies d’échelle et avantages liés à leur taille ; elles investiront dans un écosystème de start-up et de PME en les rachetant ou en nouant des partenariats avec des entreprises plus petites et plus innovantes ; elles pourront ainsi conserver l’autonomie de leurs entreprises respectives tout en agissant de manière plus efficace et plus agile. La décision récente de Google de se restructurer en une

holding baptisée Alphabet est emblématique de cette tendance, induite par l’impératif de maintenir sa capacité d’innovation et son agilité.

En fin de compte, comme on le verra en détail par ailleurs, le contexte réglementaire et législatif pèse fortement sur la façon dont chercheurs, décideurs et citoyens orientent, financent et adoptent les technologies émergentes et les modes opératoires leur permettant de créer de la valeur ajoutée pour le client. En effet, si les nouvelles technologies et les entreprises innovantes offrent de nouveaux produits et services susceptibles d’améliorer la vie du plus grand nombre, ces mêmes technologies et les systèmes sous-jacents sont également susceptibles d’engendrer des effets négatifs qu’il serait préférable d’éviter. Cela va du chômage de masse et de la montée des inégalités, évoqués précédemment, aux dangers des armements automatisés et aux nouveaux risques en matière de cybersécurité.

Quel serait le dosage souhaitable du point de vue réglementaire ? Sur ce point, les avis divergent, mais nos contacts auprès de responsables politiques, d’hommes d’affaires et de représentants de la société civile semblent indiquer que tous partagent une même

perspective : créer des écosystèmes juridiques et réglementaires à la fois souples et efficaces, favorables à l'innovation tout en minimisant les risques, afin de garantir la stabilité et la prospérité sociale.

Encadré 2

Préservation et restauration de l'environnement

Cette convergence des mondes physiques, numériques et biologiques, qui est au cœur de la Quatrième Révolution Industrielle, ouvre la possibilité d'utiliser les ressources naturelles de façon plus économique et efficace.

Le projet MainStream du World Economic Forum, visant à accélérer l'adoption de l'économie circulaire, montre que les nouvelles technologies et la conception de systèmes intelligents sont porteurs d'une promesse : celle-ci ne nous permet pas simplement d'espérer que nous allons diminuer l'impact individuel et collectif sur l'environnement, mais aussi que

nous allons réussir à le régénérer et à le restaurer.

Au cœur de cette promesse, se trouve la possibilité de libérer producteurs et consommateurs de l'économie linéaire et de son système de gaspillage : ce système suppose en effet une masse de ressources aisément disponibles, pour évoluer vers un nouveau modèle industriel dans lequel les flux de matière, d'énergie, de main-d'œuvre, et plus récemment d'information, interagissent pour créer un système économique plus productif et capable de régénérer l'environnement.

Quatre pistes nous mènent dans cette direction. Premièrement, avec l'Internet des objets et les objets intelligents, il est désormais possible de suivre les flux de matière et d'énergie pour réaliser des économies massives tout au long des filières. D'après Cisco, sur 14 400 milliards de dollars de retombées économiques que permettrait l'IdO dans la décennie à venir, 2 700 milliards pourraient provenir de l'élimination du gaspillage et de l'amélioration des processus d'approvisionnement et de la logistique.

Les solutions ouvertes par l'IdO devraient permettre une réduction des émissions de gaz de serre de 9,1 milliards de tonnes d'ici 2020, soit 16,5 % du total prévu pour cette année-là[40].

Deuxièmement, avec la démocratisation de l'information et la transparence dues aux objets numériques, les citoyens sont en meilleure position pour réclamer des comptes au gouvernement et aux entreprises. Des technologies telles que la blockchain contribueront à rendre cette information plus fiable, par exemple en captant et en certifiant les données sur le déboisement recueillies par satellite sous un format sécurisé afin d'obliger les propriétaires terriens à rendre des comptes.

Troisièmement, les nouveaux flux d'information et la transparence accrue peuvent contribuer à modifier à grande échelle le comportement des citoyens : avec de nouvelles normes économiques et sociales favorables à un système économique circulaire durable, un comportement plus

vertueux deviendra la ligne de conduite allant de soi.

Grâce à une convergence entre les sciences du comportement, la psychologie et l’économie, on comprend mieux nos manières de percevoir le monde, d’agir et de justifier nos comportements. De nombreux tests de contrôle aléatoire conduits par des États, des entreprises ou des universités ont permis de valider ces résultats. Ainsi, OPower utilise les comparaisons entre consommateurs pour les inciter à réduire leur consommation d’électricité, contribuant ainsi à protéger l’environnement tout en réduisant les coûts.

Quatrièmement, comme nous l’avons déjà souligné, les nouveaux modèles organisationnels offrent de nouveaux modes de création et de partage de la valeur, lesquels entraînent à leur tour des changements systémiques complets, bénéfiques pour l’environnement, mais aussi pour l’économie et la société. Les véhicules autonomes, l’économie du partage et les nouveaux modèles de leasing se traduisent tous par un meilleur taux

d’utilisation des équipements. Ils facilitent aussi grandement la collecte et le recyclage des matériaux en temps voulu.

Avec la Quatrième Révolution Industrielle, les entreprises pourront allonger le cycle d’usage des biens et des ressources, augmenter leur taux d’utilisation et mettre en place des « cascades » dans lesquelles matériaux et énergie seront récupérés et recyclés pour d’autres usages, réduisant ainsi les émissions et la pression sur les ressources. Dans ce système révolutionnaire, le dioxyde de carbone cesse d’être un gaz à effet de serre pour devenir une ressource ; le captage et stockage du CO_2 cesse d’être un gouffre économique,

avec des installations de captage rentables et utiles à la production. Plus important encore, entreprises, gouvernements et citoyens, plus conscients des enjeux écologiques, s’impliqueront davantage dans la protection de l’environnement : un usage intelligent et respectueux du capital naturel permettra d’instaurer un système de production et de

consommation durable, et de restaurer la biodiversité dans les zones menacées.

Le national et le global

La Quatrième Révolution Industrielle bouleverse aussi le fonctionnement des institutions et organismes publics. En particulier, au niveau local, régional et national, les gouvernements sont contraints de s'adapter, de se réorganiser et d'inventer de nouveaux modes de collaboration avec les citoyens et avec le secteur privé. Les relations qu'entretiennent les gouvernements et les pays entre eux sont elles aussi transformées.

Dans cette section, j'analyse le rôle que les gouvernements doivent jouer s'ils veulent maîtriser la Quatrième Révolution Industrielle, et j'identifie les forces profondes qui modifient la perception traditionnelle des hommes politiques et de leur rôle social. Avec l'influence grandissante des citoyens, la fragmentation et la polarisation des populations, on pourrait voir émerger un système dans lequel l'exercice du pouvoir politique devient plus difficile et moins

efficace. Ce changement est d'autant plus crucial à une époque où les gouvernements sont appelés à accompagner la transition vers de nouveaux paysages scientifiques, technologiques, économiques et sociaux.

Les gouvernements

L'impact de la Quatrième Révolution Industrielle sur les pouvoirs publics, la première chose qui vient à l'esprit est l'usage des technologies numériques pour mieux gouverner. Le recours plus systématique et plus innovant aux technologies du Web permet de moderniser les structures des administrations publiques et d'améliorer leur fonctionnement : développer les processus de gouvernance numérique, promouvoir une relation plus transparente, plus responsable et une meilleure interaction entre le gouvernement et les citoyens. Les gouvernements doivent également tenir compte du fait que le pouvoir se déplace de plus en plus vers des acteurs non étatiques, et vers des réseaux plus ou moins informels. Avec les technologies nouvelles et les groupes sociaux ainsi que les formes d'interactions qu'elles

favorisent, pratiquement n'importe qui peut exercer une influence, ce qui était inconcevable il y a encore quelques années.

Les gouvernements sont particulièrement affectés par ce changement du pouvoir qui devient de plus en plus instable et évanescent. Pour reprendre les termes de Moisés Naím, « au XXIe siècle, le pouvoir est plus facile à conquérir, plus difficile à exercer et plus facile à perdre[41] ». Incontestablement, l'exercice du pouvoir est plus difficile que par le passé. À des rares exceptions près, les décideurs politiques ont plus de mal à impulser des changements. Ils sont confrontés à des sources de pouvoir rivales, à tous les niveaux. Les micro-pouvoirs sont désormais en position de contrer des macro-pouvoirs.

L'ère numérique a détruit certaines barrières qui protégeaient l'autorité publique, réduisant l'efficacité des gouvernements à mesure que la population se trouvait mieux informée et haussait son niveau d'exigence. La saga de WikiLeaks, qui voit une minuscule entité, non étatique, affronter un État gigantesque, illustre bien cette asymétrie des nouveaux paradigmes du pouvoir et l'érosion de la confiance qui bien souvent l'accompagne.

Pour explorer, sous ses multiples aspects, l'impact de la Quatrième Révolution Industrielle sur les gouvernements, il faudrait un ouvrage entier, mais le point clé est le suivant : de plus en plus, grâce à la technologie, les citoyens vont pouvoir faire entendre leurs voix, coordonner leurs efforts et possiblement échapper au contrôle étatique. Je dis bien « possiblement », car on peut aussi envisager un scénario inverse, où les technologies de surveillance permettraient à un État tout-puissant de renforcer son contrôle sur les citoyens.

Des structures parallèles permettront de diffuser des idéologies, recruter des militants et coordonner des actions contre – ou malgré – les pouvoirs publics. Les gouvernements seront contraints de modifier leur structure actuelle à mesure que leur rôle central dans la conduite des affaires publiques régressera sous l'action d'une concurrence exacerbée et des effets de redistribution et de décentralisation du pouvoir induits par les nouvelles technologies. De plus en plus, les gouvernements seront considérés comme des centres de services publics, qui seront jugés sur leur capacité à assurer des services élargis aussi efficaces et individualisés que possible.

Finalement, la survie des gouvernements dépendra de leur faculté d'adaptation : ils survivront si, dans un monde de disruption croissante, ils réussissent à imposer à leurs administrations, la transparence et l'efficacité nécessaires pour conserver leur position dominante. Cette transformation radicale fera d'eux des entités politiques plus légères, plus efficaces, dans un environnement de pouvoirs nouveaux et concurrents.

Comme pour les révolutions industrielles précédentes, la réglementation jouera un rôle décisif dans l'adaptation et la diffusion des technologies nouvelles. Néanmoins, en matière de création, de réforme et d'application de la réglementation, les pouvoirs publics seront contraints de changer de perspective. Dans l'« ancien monde », les décideurs avaient le temps d'étudier un problème donné et d'élaborer les mesures ou le contexte réglementaire adéquat. Le processus était linéaire et mécanique suivant une démarche rigoureusement top down. C'est désormais impossible, pour différentes raisons.

La Quatrième Révolution Industrielle a imposé un rythme de changement si rapide que les dirigeants se trouvent plus que jamais mis en

cause. Les pouvoirs politiques, législatifs et réglementaires, dépassés par les événements, sont souvent incapables de suivre le rythme du changement technique et d'en saisir les implications. Avec l'information en continu, les dirigeants sont obligés de commenter ou de réagir instantanément aux événements ; le temps nécessaire pour élaborer une réaction mesurée et équilibrée est réduit. Le danger est réel de perdre le contrôle des choses importantes, dans ce monde comptant près de 200 États indépendants et des milliers de cultures et de langues.

Dans ces conditions, comment les dirigeants politiques peuvent-ils accompagner l'évolution technologique et protéger les intérêts des consommateurs et du grand public sans freiner l'innovation ? La réponse est dans la gouvernance agile (voir encadré 3).

Nombre de percées technologiques ne sont pas correctement prises en compte dans le contexte réglementaire actuel, et seraient même susceptibles de briser le contrat social entre le gouvernement et les citoyens. La gouvernance agile implique que les dirigeants politiques trouvent un moyen de s'adapter continuellement aux changements de l'environnement ; ils doivent se remettre en cause constamment afin

de mieux comprendre ce qu'ils sont censés réglementer. Pour cela, les pouvoirs publics et les autorités réglementaires doivent collaborer plus étroitement avec les entreprises et la société civile pour orienter les changements qui s'imposent au niveau mondial, régional et sectoriel.

La gouvernance agile n'est pas synonyme d'incertitude réglementaire, ni d'une activité frénétique de la part des décideurs publics. Il faut éviter de croire que nous sommes pris entre deux systèmes législatifs, tous deux indésirables : l'un stable mais désuet, l'autre moderne mais instable. L'ère de la Quatrième Révolution Industrielle n'appelle pas nécessairement des mesures politiques plus rapides ou plus nombreuses, mais un écosystème juridique et réglementaire offrant un cadre plus résilient. On pourrait même envisager de créer des espaces de réflexion conçus pour élaborer dans le calme les décisions importantes. Le problème est de parvenir à un mode de délibération plus productif qu'aujourd'hui, capable d'anticipation, afin de ménager un maximum d'espace favorable à l'innovation.

En bref, dans un monde où les fonctions publiques essentielles, les communications

sociales et les informations personnelles migrent vers des plateformes numériques, les pouvoirs publics, en collaboration avec les entreprises et la société civile, doivent mettre en place les règles et les contre-pouvoirs capables d'assurer la justice, la compétitivité et l'équité, notamment la sécurité et la fiabilité de la propriété intellectuelle.

Deux approches conceptuelles sont possibles. Dans l'une, tout ce qui n'est pas explicitement interdit est autorisé. Dans l'autre, tout ce qui n'est pas explicitement autorisé est interdit. Nos gouvernements doivent combiner ces deux approches. Ils doivent apprendre à collaborer et à s'adapter, tout en assurant une dimension humaine dans toute décision. Leur rôle est plus important que jamais : favoriser l'innovation tout en minimisant les risques, tel est le défi.

Pour y parvenir, ils devront mieux impliquer les citoyens et essayer des solutions politiques qui laissent place à l'apprentissage et à l'adaptation. Ce double objectif suppose que les gouvernements et les citoyens repensent leurs rôles respectifs et leurs modes d'interaction, tout en admettant explicitement la nécessité d'intégrer des perspectives divergentes, quels que soient les erreurs et les faux pas inévitables.

Encadré 3

Les principes de gouvernance agile

Le marché du travail

Les technologies numériques et les infrastructures de communication globales ont bouleversé les notions traditionnelles d'emploi et de salaire, donnant naissance à des emplois d'un type nouveau, extrêmement flexibles et fondamentalement instables (ce que l'on appelle l'économie à la demande). Ces nouveaux emplois ont le mérite d'offrir des horaires flexibles et sont potentiellement source d'autres innovations sur le marché du travail ; en revanche, il y a lieu de s'inquiéter du faible niveau de protection qu'ils offrent à leurs employés dans le contexte de cette économie à la demande, dans lequel tout individu devient un indépendant, qui ne bénéficie ni de la sécurité ni de la pérennité de l'emploi.

Monnaie et impôt

En outre, l’économie à la demande soulève des inquiétudes concernant la collecte de l’impôt, car le travail au noir devient plus aisé et plus attractif. Les systèmes de paiement numérisés rendent les transactions et les micro-transactions plus transparentes ; en revanche, les nouveaux systèmes décentralisés qui émergent risquent de compromettre sérieusement la capacité des autorités publiques et des acteurs privés à surveiller l’origine et la destination des transactions.

Responsabilité et protection

Pendant longtemps, l’existence des professions réglementées (par exemple les taxis ou les professions médicales) a reposé sur le fait que certaines professions à haut risque exigeaient un niveau de contrôle plus élevé et ne devaient être occupées que par des professionnels certifiés, afin de garantir la sécurité et la protection du consommateur. Plusieurs de ces monopoles garantis par l’État sont aujourd’hui remis en cause par des avancées technologiques permettant l’interaction directe d’égal à égal : de nouveaux intermédiaires gèrent la

coordination et facilitent ces interactions.

Sécurité et confidentialité

En dépit du caractère transnational d'Internet et de la montée d'une économie globalisée, la réglementation concernant le droit et la protection des données demeure fortement segmentée. Les règles fixant la collecte, le traitement et la revente des données individuelles, clairement définies en Europe, sont encore incomplètes ou absentes sous d'autres juridictions. L'agrégation de vastes bases de données permet aux opérateurs de déduire plus d'information que l'utilisateur n'en a (implicitement ou explicitement) fourni. Les techniques d'analyse et de généralisation du big data permettent un profilage des utilisateurs, ouvrant la voie à de nouveaux services à la demande plus personnalisés ; ces services seront virtuellement bénéfiques aux utilisateurs et aux consommateurs, mais on peut aussi s'inquiéter des problèmes de confidentialité qu'ils posent et de la

menace qu’ils représentent pour l’autonomie individuelle.

Compte tenu de l’inquiétude croissante concernant la cybercriminalité et le piratage d’identité, de nombreux systèmes juridiques font pencher la balance vers moins de liberté et plus de contrôle, comme le montrent les révélations d’Edward Snowden, l’analyste américain qui a organisé la fuite des documents concernant les actions de la NSA, l’agence nationale de sécurité américaine.

Accès et inclusion

À mesure que l’économie globalisée pénètre dans le monde numérique, l’accès à un système fiable d’infrastructures numériques devient la condition essentielle de la prospérité économique. Il est impératif que les pouvoirs publics saisissent bien la portée potentielle de ces avancées technologiques. Il ne suffit pas qu’ils adoptent ces technologies pour leurs besoins propres, il faut encore qu’ils agissent pour en promouvoir la diffusion et instaurer une société globalement connectée. La question de la fracture ou de l’exclusion numérique

prend une importance croissante à mesure qu'il devient plus difficile de participer à l'économie numérique et aux nouvelles formes d'engagement citoyen sans une connexion Internet convenable et/ou sans accès à un appareil connecté ou aux connaissances nécessaires pour s'en servir.

Asymétries de pouvoir

Dans notre société, les asymétries d'information risquent d'entraîner un grave déséquilibre des pouvoirs, car celui qui connaît la technologie détient le pouvoir. Une entité disposant d'un accès au code source est presque toute-puissante. Compte tenu des difficultés croissantes à saisir le potentiel des technologies modernes, il est probable que de nouvelles inégalités apparaîtront, entre les individus à l'aise avec la technologie, qui la comprennent et la contrôlent, et ceux qui, moins bien informés, utilisent passivement une technologie dont le fonctionnement leur échappe.

Source : « A call for Agile Governance Principles in an Age of Disruption », Global Agenda Council on Software &

Society, World Economic Forum, novembre 2015.

Les États, les régions et les villes

Les technologies numériques ne connaissent pas les frontières ; dès lors, de nombreuses questions jaillissent si l'on considère l'impact géographique de ces technologies et l'impact des facteurs géographiques sur le développement technologique. Quel sera le rôle respectif des États, des régions et des villes dans la Quatrième Révolution Industrielle ? L'Europe occidentale et les États-Unis resteront-ils, comme par le passé, maîtres du jeu ? Quels seront les pays capables de les rattraper ? Assisterons-nous au progrès de la collaboration pour le plus grand bien de la société, ou au contraire à une fragmentation croissante, non seulement interne aux pays mais aussi entre pays ? Dans un monde où la production de biens ou de services peut être localisée dans n'importe quel pays, et où une part importante de la demande en main-d'œuvre faiblement qualifiée disparaît du fait de la robotisation, verrons-nous tous ceux qui en

ont les moyens s'installer dans des pays dotés d'institutions robustes et offrant une bonne qualité de vie ?

Une réglementation favorable à l'innovation

Face à ces questions, un élément de réponse s'impose : les États et les régions qui réussiront à imposer les normes internationales de demain dans les grands domaines de la nouvelle économie numérique (communications 5G, utilisation de drones à des fins commerciales, Internet des objets, numérisation dans le domaine de la santé, fabrication de pointe) récolteront des bénéfices économiques et financiers considérables. À l'inverse, les États qui s'attachent à imposer des normes spécifiques pour favoriser leurs producteurs nationaux, cherchant à bloquer les concurrents étrangers, à réduire les royalties versées pour utiliser les technologies étrangères, risquent fort de se couper des normes dominantes ; on peut s'attendre à les retrouver à la traîne de la nouvelle économie[42].

Comme nous l'avons déjà mentionné, la question de la législation et de son acceptation au niveau national et régional jouera un rôle fondamental dans la définition de l'écosystème où opèrent les entreprises disruptrices. Il peut en résulter des affrontements entre États.

Un bon exemple est la décision d'octobre 2015 de la Cour européenne de justice d'invalider l'accord dit Safe Harbor, qui réglementait les transferts de données individuelles entre l'Union européenne et les États-Unis. Ceci ne manquera pas d'augmenter les coûts de conformité pour les entreprises qui veulent s'implanter en Europe ; cette question est devenue un point épineux dans les relations transatlantiques.

Cet exemple montre bien l'importance croissante des écosystèmes d'innovation comme facteurs clés de la compétitivité. À l'avenir, la distinction entre pays à bas coût et à haut coût de main-d'œuvre, ou entre marchés émergents et marchés matures, importera moins que celle entre les pays capables de favoriser la production de l'innovation et les autres.

Ainsi, aujourd'hui, les entreprises nord-américaines demeurent les plus innovatrices sous tous rapports. Elles attirent les meilleurs

talents, déposent le plus grand nombre de brevets, contrôlent la majorité du capital-risque mondial, et lorsqu'elles sont cotées en Bourse, leurs actions sont fortement valorisées. De plus, l'Amérique du Nord demeure à la pointe de quatre révolutions en synergie : l'innovation technologique dans le domaine de la production énergétique, de la fabrication avancée et numérique, des sciences de la vie et des technologies de l'information.

Tandis que l'Amérique du Nord et l'Union européenne, qui compte certains des États les plus innovants, mènent le jeu, on voit d'autres pays gagner rapidement du terrain. On estime ainsi que les performances chinoises en matière d'innovation atteignent 49 % du niveau européen en 2015 (contre 35 % en 2006), à mesure que le pays change de modèle économique pour se concentrer sur l'innovation et les services[43]. La Chine, qui partait d'un niveau relativement bas, ne cesse de monter en puissance dans la production globale, et sait tirer profit de ses importantes économies d'échelle pour mieux se positionner dans la concurrence internationale[44].

Globalement, les choix politiques stratégiques seront décisifs pour déterminer si un pays ou une

région peuvent profiter pleinement des possibilités offertes par la révolution technologique.

Les régions et les villes, des centres d'innovation

Je suis particulièrement préoccupé par l'effet que l'automatisation aura sur certains États et certaines régions, en particulier dans les marchés à croissance rapide et les pays en développement : elle pourrait rapidement éroder l'avantage concurrentiel que ces États et régions détiennent du fait qu'ils produisent des biens et services à forte intensité de main-d'œuvre. Ce scénario pourrait ravager les économies de certains pays ou régions qui connaissent actuellement la prospérité.

Il est clair que ni les pays ni les régions ne peuvent prospérer si les villes, écosystèmes d'innovation, ne sont pas continuellement alimentées. Historiquement, les villes ont toujours été le moteur de la croissance économique, de la prospérité et du progrès social, et elles seront à l'avenir déterminantes pour la compétitivité des pays et des régions.

Aujourd'hui, plus de la moitié de la population mondiale vit en zone urbaine, des villes moyennes aux mégapoles, et le nombre d'habitants des villes poursuit sa croissance dans le monde entier. Beaucoup de facteurs qui influent sur la compétitivité des pays et des régions (de l'innovation et de l'éducation, aux infrastructures et à l'administration publique) sont du ressort des villes.

Les villes qui parviendront le mieux à attirer les talents et à rivaliser avec d'autres métropoles seront celles qui sauront assimiler et diffuser la technologie rapidement, en s'appuyant sur des politiques publiques agiles. L'accès au très haut débit, le recours aux technologies numériques dans les transports, la consommation énergétique, le recyclage des déchets, etc., rendent une ville plus performante, plus vivable, et donc plus attrayante.

Il est donc essentiel que partout dans le monde les villes et les pays s'emploient à garantir, à toute la population, l'accès et l'usage des technologies de l'information et de la communication (TIC) qui conditionnent pour l'essentiel la Quatrième Révolution Industrielle.

Malheureusement, comme le montre le *Global Information Technology Report 2015* du

World Economic Forum, les infrastructures de TIC ne sont pas aussi répandues et leur diffusion n'est pas aussi rapide qu'on le pense. « La moitié de la population mondiale n'a pas de téléphone portable et 450 millions de personnes vivent encore sans réception d'un signal mobile. Environ 60 % de la population mondiale ne sont pas encore connectés ; ce chiffre dépasse les 90 % dans les pays pauvres. Enfin, la plupart des téléphones portables sont de l'ancienne génération[45]. »

Les gouvernements doivent donc se préoccuper de lutter contre la fracture numérique, à tous les stades de développement, pour que les villes et les États disposent des infrastructures de base indispensables à l'essor économique et à la réussite partagée rendue possible par les nouveaux modèles de collaboration, d'efficacité et d'entreprise.

Les travaux du Forum sur le « développement axé sur les données » (*Data Driven Development*) soulignent que ce n'est pas seulement l'accès aux infrastructures numériques qui conditionne la possibilité de saisir cette chance. Il est également indispensable, dans de nombreux pays, notamment de l'hémisphère sud, de traiter le

problème du « déficit de données », en agissant sur les contraintes qui pèsent sur la création, la collecte, la diffusion et l'utilisation des données. En comblant ces quatre « fractures » qui contribuent au déficit des données, les États, les régions et les villes se doteront d'outils supplémentaires pour favoriser leur développement : suivre les épidémies, mieux gérer les catastrophes naturelles, faciliter l'accès des pauvres aux services publics et financiers, et comprendre les mouvements migratoires des populations défavorisées[46].

Les États, les régions et les villes ne peuvent se contenter de changer le cadre réglementaire ; ils doivent aussi investir activement pour devenir les tremplins de la transformation numérique, afin d'attirer des entrepreneurs et des investisseurs dans des start-up innovantes tout en veillant à ce que les entreprises en place s'ouvrent aux possibilités offertes par la Quatrième Révolution Industrielle.

À mesure que de jeunes entreprises dynamiques s'allient aux entreprises en place, aux citoyens et aux universités, la ville devient tout à la fois un site expérimental et un centre fertile où les idées nouvelles se transforment en

valeur réelle pour les économies locales et globales.

Selon l'association britannique Nesta, qui soutient l'innovation, les cinq villes dont l'environnement politique est le plus favorable à l'innovation, sont New York, Londres, Helsinki, Barcelone et Amsterdam[47]. L'étude de Nesta montre que ces villes excellent à trouver des moyens créatifs d'impulser des changements en dehors de l'arène politique officielle, à être ouvertes par défaut et à agir en entrepreneurs (plutôt qu'en bureaucrates). Ces trois critères, permettant de dégager les cas d'excellence, sont également applicables aux villes des pays émergents et en développement. La ville de Medellin, en Colombie, a ainsi reçu le titre de Ville de l'année en 2013, en reconnaissance de son approche originale de la mobilité et du développement durable, devant les autres finalistes New York et Tel Aviv[48].

En octobre 2015, le Global Agenda Council on The Future of Cities du World Economic Forum a publié une étude de cas portant sur des villes du monde entier en quête de solutions innovantes à toute une gamme de problèmes (voir encadré 4)[49]. Ce rapport montre le caractère unique de la Quatrième Révolution

Industrielle : elle est induite par un réseau global de villes, de pays et de bassins régionaux intelligents (en réseau), qui comprennent et exploitent les possibilités de cette révolution, dans une approche à la fois top down et bottom up, agissant dans une perspective globale et intégrée.

Encadré 4

Innovations urbaines

Espace numériquement reprogrammable : les bâtiments pourront instantanément changer de fonction pour servir de théâtre, de gymnase, de centre social, de boîte de nuit ou autre, réduisant ainsi au minimum l'empreinte urbaine globale. Les villes pourront faire plus avec moins.

« Waternet » : avec l'Internet des tuyaux, des capteurs permettront de superviser la distribution de l'eau dans les réseaux, de surveiller les flux et de contrôler le cycle entier, fournissant durablement l'eau nécessaire aux besoins humains et écologiques.

Adoption d'un arbre *via* les réseaux sociaux : les études montrent qu'augmenter de 10 % les espaces verts d'une ville permettrait de compenser l'augmentation de température provoquée par le changement climatique ; la végétation contribue à bloquer le rayonnement à ondes courtes grâce à l'évaporation d'eau, qui rafraîchit l'air ambiant et crée des microclimats plus agréables. La canopée et les systèmes racinaires peuvent également réduire le flux des eaux pluviales en cas de tempête et équilibrer les apports nutritifs.

Mobilité nouvelle génération : avec les progrès des capteurs, de l'optique et des processeurs embarqués, une meilleure sécurité pour les piétons et l'avènement des transports non motorisés entraîneront la généralisation des transports en commun, la réduction des embouteillages et de la pollution, une amélioration de la santé et des trajets domicile-travail plus rapides, plus réguliers et moins chers.

Cogénération, cochauffage et corefroidissement : déjà, les systèmes mécaniques de cogénération

captent et récupèrent l'excédent de chaleur, améliorant nettement le rendement énergétique. Les systèmes de trigénération utilisent la chaleur soit pour le chauffage soit pour la climatisation, grâce à la technologie du réfrigérateur à absorption – par exemple, pour refroidir des bureaux abritant beaucoup d'ordinateurs.

Mobilité à la demande : le numérique rend la circulation des véhicules plus efficace en permettant l'information en temps réel et une surveillance sans précédent des infrastructures de mobilité urbaine. Cela ouvre de nouvelles possibilités pour utiliser au mieux le véhicule grâce à des algorithmes d'optimisation dynamiques.

Réverbères intelligents : les réverbères LED de nouvelle génération peuvent servir de plateformes pour toute une série de capteurs collectant des données sur le climat, la pollution, l'activité sismique, la circulation des véhicules et des personnes, le bruit et la qualité de l'air. En reliant ces réverbères intelligents urbains en réseau, il est possible de contrôler en temps réel ce qui se passe dans une

ville et de proposer des solutions innovantes dans des secteurs comme la sécurité publique, ou encore de localiser les espaces de stationnement disponibles.

Source : « Top Ten Urban Innovations », Global Agenda Council on the Future of Cities, World Economic Forum, octobre 2015.

La sécurité internationale

La Quatrième Révolution Industrielle affectera en profondeur la nature des rapports entre États et de la sécurité internationale. J'attache une importance toute particulière à cette question, car j'ai le sentiment que, de tous les changements importants induits par cette révolution, la sécurité est un sujet insuffisamment débattu dans le domaine public en dehors du secteur politique et de l'industrie de la défense.

Le principal danger est que ce monde hyperconnecté où se développent les inégalités ne conduise vers toujours plus de fragmentation,

de ségrégation et d'instabilité sociale, terreau de la violence et de l'extrémisme. La Quatrième Révolution Industrielle modifiera la nature des menaces qui pèsent sur la sécurité, tout en influençant les déplacements du pouvoir : ceux-ci s'opèrent à la fois sur un plan géographique et des acteurs étatiques vers les acteurs non étatiques. Face à la montée d'acteurs armés non étatiques, dans un environnement géopolitique de plus en plus complexe, le projet de mettre en place une plateforme commune en vue d'une collaboration autour des thèmes clés de sécurité internationale devient un enjeu déterminant, bien que difficilement réalisable.

Connectivité, fragmentation et instabilité sociale

Nous vivons dans un monde hyperconnecté, dans lequel l'information, les idées et les gens circulent plus rapidement que jamais. Nous vivons également dans un monde d'inégalités croissantes, phénomène qui sera accentué par les changements massifs du marché du travail mentionnés plus haut. La généralisation de l'exclusion sociale, la difficulté de trouver un

véritable sens au monde moderne et la perte de confiance, subjective ou objective, dans les élites et les structures en place, servent de prétexte aux mouvements extrémistes qui recrutent des volontaires désireux de mener une lutte violente contre les systèmes existants (voir encadré 5).

L'hyperconnectivité ne s'accompagne pas nécessairement d'une plus grande tolérance ou d'une meilleure adaptabilité, comme on a pu le constater dans les réactions induites par les déplacements tragiques de population qui ont atteint un pic historique en 2015. Et pourtant, cette même hyperconnectivité est également porteuse de la possibilité d'arriver à un accord commun fondé sur une meilleure tolérance et une meilleure compréhension des différences, qui pourraient aider à rassembler les communautés au lieu de les diviser. Faute de progresser dans cette direction, nous sommes condamnés à une fragmentation croissante.

Encadré 5

La Quatrième Révolution Industrielle et la mobilité

Les mouvements migratoires sont à la fois un phénomène majeur et un facteur de développement économique. Comment la Quatrième Révolution Industrielle va-t-elle affecter les mouvements de population ? Il est sans doute trop tôt pour se prononcer mais, en extrapolant à partir des tendances actuelles, on peut penser que le rôle social et économique de la mobilité ira croissant.

Réaliser ses aspirations : résultat d’une prise de conscience des événements et des possibilités dans d’autres pays due à une plus grande connectivité, la mobilité est de plus en plus considérée comme un choix de vie, notamment par les jeunes. Les motivations individuelles sont variables : recherche d’emploi, désir d’étudier, quête de sécurité, désir de regroupement familial, etc., mais la tendance à rechercher des solutions au-delà des frontières est croissante.

Redéfinir les identités personnelles : les individus avaient coutume de s’identifier étroitement à un lieu, un groupe ethnique, une culture particulière ou même une langue. Avec

l'essor des échanges en ligne et l'exposition accrue aux idées venant d'autres cultures, les identités sont devenues plus fongibles. On est aujourd'hui plus à l'aise pour endosser et combiner des identités multiples.

Redéfinir l'identité familiale : les structures familiales se trouvent redéfinies du fait de l'évolution historique des flux migratoires et de la baisse des coûts de la connectivité. Les contraintes spatiales étant abolies, les liens s'établissent d'un pays à l'autre, avec un dialogue familial permanent, renforcé par les moyens numériques de communication. De plus en plus, l'unité familiale traditionnelle se trouve remplacée par un réseau familial international.

Reconfigurer le marché du travail : potentiellement, la mobilité des salariés peut reconfigurer les marchés du travail internes, pour le meilleur ou pour le pire. D'un côté, les salariés des pays en développement constituent un vivier de ressources humaines aux multiples niveaux de compétence, permettant de compenser les carences en main-d'œuvre dans le monde développé. La

mobilité des talents est un moteur de créativité, d'innovation industrielle et d'efficacité dans le travail. D'un autre côté, l'injection de main-d'œuvre étrangère dans les marchés intérieurs, faute d'être bien gérée, peut entraîner des inégalités de salaire et le malaise social dans des pays d'accueil, tout en privant des pays d'origine du capital humain valable.

La révolution numérique a créé de nouvelles opportunités de communication et de « mobilité » qui prolongent et enrichissent la mobilité physique. La Quatrième Révolution Industrielle aura probablement un effet semblable : la fusion des mondes physique, numérique et biologique abolira plus encore les contraintes géographiques et temporelles, encourageant par là même la mobilité. L'un des problèmes de la Quatrième Révolution Industrielle sera donc la gouvernance de la mobilité des personnes afin de veiller à tirer pleinement profit de ses bienfaits. Ceci suppose d'aligner les droits et devoirs souverains sur les droits et aspirations individuels, de concilier la sécurité nationale et celle des populations et de

préserver l'harmonie sociale au cœur de la diversité croissante.

Source : Global Agenda Council on Migration, World Economic Forum.

Le changement de nature des conflits

La Quatrième Révolution Industrielle affectera l'étendue et la nature des conflits. La distinction entre guerre et paix, entre civil et combattant s'estompe de manière troublante. De même, l'espace conflictuel est de plus en plus à la fois local et global. Des mouvements tels que l'organisation État islamique opèrent principalement dans des zones bien délimitées du Moyen-Orient, tout en recrutant des combattants dans plus de 100 pays, en grande partie *via* les réseaux sociaux, tandis que les attaques terroristes correspondantes peuvent éclater n'importe où sur la planète. Les conflits modernes sont de plus en plus de nature hybride, combinant des techniques militaires traditionnelles avec des éléments qui étaient auparavant plutôt le fait d'acteurs non étatiques armés. Cependant, on n'a pas encore pleinement

pris la mesure de ce changement, compte tenu de la convergence de plus en plus imprévisible des technologies et du fait qu'acteurs étatiques et acteurs non étatiques armés tirent profit d'un enseignement mutuel.

À mesure que ce processus évolue et qu'il devient plus facile de se procurer et d'utiliser de nouvelles technologies létales, il apparaît clairement que la Quatrième Révolution Industrielle offre à tous des moyens de plus en plus variés de nuire à autrui à grande échelle. La prise de conscience de ces faits s'accompagne d'un sentiment croissant de vulnérabilité.

Cependant, tout n'est pas si noir. La technologie apporte également avec elle la possibilité d'une plus grande précision au combat, des vêtements d'avant-garde pour la protection des soldats, la capacité d'imprimer les pièces de rechange essentielles ou d'autres composants directement sur le champ de bataille…

La cyberguerre

La cyberguerre représente l'une des menaces les plus graves de notre époque. Le cyberespace

devient tout autant le théâtre d'affrontements qu'autrefois l'espace terrestre, maritime ou aérien. Je peux sans risque parier qu'à l'avenir tout conflit entre acteurs relativement développés, qu'il se déroule ou non dans le monde physique, comportera très probablement une dimension cybernétique, simplement parce qu'aucun adversaire moderne ne saurait résister à la tentation de dérégler, brouiller ou détruire les capteurs, et les instruments de communications et de prise de décision de son ennemi.

Cela aura pour effet d'abaisser le seuil de la guerre, mais également d'estomper la distinction entre guerre et paix, parce que n'importe quel réseau ou objet connecté, des systèmes militaires aux infrastructures civiles (sources d'énergie, réseaux électriques ou d'eau potable, systèmes de santé ou de régulation du trafic), est susceptible d'être piraté ou attaqué. La notion d'adversaire sera donc également affectée. Il se peut qu'aujourd'hui, contrairement au passé, vous ne sachiez pas avec certitude qui vous attaque – ni même si vous avez été réellement victime d'une attaque. Les stratèges militaires et spécialistes de la défense nationale avaient coutume de se concentrer sur un nombre limité

d'États traditionnellement hostiles ; ils doivent maintenant considérer un univers quasiment infini et confus de pirates, terroristes, activistes, criminels et autres ennemis possibles. La cyberguerre peut prendre de multiples formes, depuis les actes criminels et l'espionnage jusqu'aux attaques destructives telles que Stuxnet, qui restent en grande partie sous-estimées et mal comprises parce que trop nouvelles et difficiles à contrer.

Depuis 2008, on ne compte plus les cas de cyberattaques dirigées contre des pays ou des entreprises spécifiques ; pourtant les discussions concernant ce nouvel avatar de la guerre sont encore balbutiantes, et le fossé se creuse chaque jour entre ceux qui comprennent les aspects hautement techniques de la cyberguerre et ceux qui sont chargés d'élaborer une cyberpolitique. Va-t-on voir émerger un ensemble de normes communes concernant la cyberguerre semblable à celui qui a été élaboré pour les armes nucléaires, biologiques et chimiques ? La question reste ouverte. On ne dispose même pas d'une taxonomie pour s'accorder sur ce qui représente une attaque et la réponse appropriée, par quel moyen et par qui. Une partie de l'équation pour gérer ce scénario revient à

définir quelles données circulent à travers les frontières. Cela montre bien à quel point nous sommes éloignés d'un contrôle effectif des transactions internationales sans risquer d'entraver les effets positifs d'un monde fortement interconnecté.

La guerre automatisée

La guerre automatisée, notamment le déploiement de robots militaires et d'armements pilotés par IA, ouvre la perspective d'une « guerre des robots », qui transformera radicalement les conflits à venir.

Les fonds marins et l'espace risquent d'être eux aussi de plus en plus militarisés, car des acteurs toujours plus nombreux – étatiques et privés – ont la capacité de lancer des satellites et d'utiliser des véhicules sous-marins autonomes susceptibles de perturber le fonctionnement des câbles à fibres optiques et le trafic satellite. Certains gangs criminels emploient déjà des drones quadricoptères ordinaires pour espionner et attaquer leurs rivaux. Les armes autonomes, capables d'identifier leur cible et de décider d'ouvrir le feu sans intervention humaine,

deviendront de plus en plus accessibles, remettant en cause les lois de la guerre.

Encadré 6

Les technologies émergentes transformant la sécurité internationale

Drones : il s'agit d'avions robotisés. Les États-Unis sont actuellement en pointe, mais la technologie se diffuse largement et devient plus accessible.

Armes autonomes : combinant les technologies du drone et l'intelligence artificielle, elles peuvent sélectionner et attaquer une cible sans intervention humaine, suivant des critères prédéfinis.

Militarisation de l'espace : si plus de la moitié des satellites sont à vocation commerciale, les satellites de communication jouent un rôle militaire de plus en plus important. Une nouvelle génération d'armes hypersoniques « planantes » est en train d'être mise au point, augmentant la probabilité que l'espace joue un rôle dans les conflits à

venir et faisant craindre que les mécanismes actuels de régulation des activités aérospatiales ne soient plus suffisants.

Dispositifs portables : ils permettent d'optimiser la santé et les performances dans des situations extrêmes ou de produire des exosquelettes qui amplifient les capacités des soldats, permettant à un humain de porter sans difficulté une charge d'environ 90 kg.

Impression 3D : elle révolutionnera les chaînes logistiques en permettant de fabriquer sur place des pièces de rechange à partir de modèles transmis numériquement et de matériaux disponibles localement. Elle pourrait également permettre le développement de nouveaux genres d'ogives, avec une meilleure définition de la taille des particules et de la détonation.

Énergies renouvelables : la production locale d'énergie renouvelable révolutionne les chaînes d'approvisionnement locales et favorise la capacité d'imprimer des pièces à la demande même sur des sites isolés.

Nanotechnologies : elles conduisent progressivement aux métamatériaux, matériaux intelligents qui possèdent des propriétés que l'on ne trouve pas dans la nature. Elles permettront de fabriquer des armes plus performantes, plus légères, plus mobiles, plus intelligentes et plus précises, aboutissant finalement à des systèmes capables de se reproduire et de s'assembler.

Armes biologiques : la guerre biologique est presque aussi vieille que l'histoire de la guerre elle-même, mais les avancées rapides en biotechnologie, génétique et génomique laissent prévoir l'apparition de nouvelles armes très meurtrières. Virus aéroportés conçus en laboratoire, superbactéries artificielles, parasites génétiquement modifiés : tout ceci constitue la trame de scénarios apocalyptiques potentiels.

Armes biochimiques : comme pour les armes biologiques, avec l'innovation technologique, le montage de ces armes relève presque du bricolage. Elles pourraient être envoyées par drones.

Réseaux sociaux : si les canaux numériques sont un moyen de diffuser l'information et d'organiser l'action en faveur des bonnes causes, ils peuvent également servirà répandre des contenus malveillants et de la propagande, comme le font l'organisation État islamique et d'autres groupes extrémistes pour recruter et mobiliser des adeptes. Les jeunes adultes sont particulièrement vulnérables, surtout en l'absence d'un réseau stable de soutien social.

De nombreuses technologies décrites dans l'encadré 6 existent déjà ou sont en voie d'être mises au point. À titre d'exemple, les robots SGR-A1 de Samsung, munis de deux mitrailleuses et d'un pistolet avec des balles en caoutchouc, équipent maintenant des postes frontières dans la zone démilitarisée coréenne. Ils sont, pour le moment, contrôlés par des opérateurs humains, mais pourraient, une fois programmés, identifier et attaquer des cibles humaines de façon autonome.

En 2015, le ministère britannique de la Défense et BAE Systems ont annoncé la réussite

du test de l'avion furtif Taranis, connu également sous le nom de Raptor, qui peut décoller, voler vers une destination donnée et trouver une cible prédéterminée avec un minimum d'intervention de son opérateur, sauf en cas de nécessité. On ne compte plus les exemples de ce type[50]. Ils sont appelés à se multiplier, ce qui ne manque pas de soulever de nombreuses questions à la charnière de la géopolitique, de la stratégie et de la tactique militaires, de la réglementation et de l'éthique.

Les nouvelles frontières de la sécurité globale

Comme je l'ai souligné à plusieurs reprises, notre vision du potentiel ultime des nouvelles technologies et de ce qui nous attend est très imparfaite. C'est tout aussi vrai dans le domaine de la sécurité internationale et intérieure. Chaque innovation imaginable aura des applications positives, mais aussi un côté négatif possible. Ainsi, des neurotechnologies telles que les neuroprothèses servent déjà à résoudre des problèmes médicaux, mais elles pourraient à l'avenir être mises au service d'objectifs

militaires. Grâce à des implants cérébraux, une personne paralysée peut commander un bras ou une jambe robotisés. La même technologie pourrait servir à diriger un pilote ou un soldat bioniques. Des implants cérébraux conçus pour traiter la maladie d'Alzheimer pourraient servir à effacer les souvenirs des soldats ou en créer de nouveaux. « La question n'est pas de savoir si des acteurs non étatiques vont utiliser des techniques ou des technologies issues des neurosciences, mais quand ils le feront, et lesquelles ils emploieront », déclare James Giordano, spécialiste d'éthique des neurosciences rattaché au centre médical de l'université de Georgetown. « Le cerveau sera le champ de bataille du futur[51]. »

L'existence et parfois l'absence de régulation de ces innovations ont une autre implication majeure. On observe actuellement une propagation rapide et massive de la capacité d'infliger des dommages à très grande échelle, autrefois réservée aux gouvernements ou à des organisations très sophistiquées. Des armes produites par imprimante 3D aux manipulations génétiques réalisées dans des laboratoires installés à domicile, toute une gamme d'outils de destruction issus des technologies émergentes

devient de plus en plus facilement accessible. Et avec la convergence des technologies, thème clé de ce livre, des dynamiques imprévisibles s'amorcent, menaçant les cadres juridiques et éthiques existants.

Vers un monde plus sûr

Face à ces problèmes, comment faire prendre au sérieux les dangers que les technologies émergentes représentent pour la sécurité ? Plus important encore, comment susciter une coopération au niveau mondial entre secteur privé et secteur public pour limiter ces menaces ?

Au cours de la seconde moitié du xxe siècle, on a constaté que la crainte de la guerre nucléaire faisait peu à peu place à une relative stabilité, fondée sur la destruction mutuelle assurée (DMA – *mutually assured destruction* ou MAD en anglais) : une sorte de tabou nucléaire est apparu.

Si la logique de la destruction mutuelle assurée a pour l'instant été efficace, c'est parce qu'un équilibre s'est instauré entre un petit nombre d'entités détenant le pouvoir de

s’éliminer mutuellement. La multiplication des acteurs potentiellement mortifères risque de perturber cet équilibre ; c’est la raison pour laquelle les États détenant la force de frappe ont consenti à coopérer pour maintenir un club nucléaire de taille restreinte, en négociant le Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP) vers la fin des années 1960.

En désaccord sur presque tout, l’Union soviétique et les États-Unis ont néanmoins compris que leur meilleure protection consistait à rester mutuellement vulnérables. Ainsi a été conclu le Traité sur les missiles antibalistiques (ABM), qui a pour effet de limiter le droit de prendre des mesures défensives contre les missiles à têtes nucléaires. Quand la capacité destructrice ne se limite plus à une poignée d’entités ayant des ressources, des tactiques et des intérêts globalement semblables, les doctrines de prévention de l’escalade telles que la DMA sont moins pertinentes.

Guidés par les changements promis par la Quatrième Révolution Industrielle, pourrions-nous découvrir un équilibre alternatif analogue, susceptible de transformer la vulnérabilité en stabilité et en sécurité ? Il est nécessaire que des acteurs avec des perspectives et des intérêts très

différents parviennent à trouver une sorte de modus vivendi et à coopérer afin d'éviter une prolifération mortifère.

Les parties prenantes doivent coopérer pour créer des cadres légalement contraignants et s'imposer volontairement et mutuellement des normes, des principes éthiques et des mécanismes de contrôle des effets potentiellement néfastes des technologies émergentes, de préférence sans empêcher la recherche de contribuer à l'innovation et à la croissance économique.

Des traités internationaux seront sûrement nécessaires, mais je crains fort que les régulateurs dans ce domaine ne se retrouvent à la remorque des progrès technologiques, compte tenu de leur vitesse et de la multiplicité de leurs impacts. Par conséquent, il y a un besoin urgent de discussions entre enseignants et développeurs concernant les normes éthiques qui doivent s'appliquer aux technologies émergentes de la Quatrième Révolution Industrielle, pour définir des principes éthiques communs et les intégrer dans le tissu social et culturel. Comme les pouvoirs publics restent à la traîne dans l'espace réglementaire, il se peut que l'initiative revienne

en réalité au secteur privé et aux acteurs non étatiques.

Pour des raisons compréhensibles, le développement des nouvelles technologies militaires s'effectue au sein d'une sphère relativement isolée. Je crains cependant que d'autres secteurs, comme la recherche médicale en génétique, ne restent confinés dans des sphères isolées et hautement spécialisées, et limitent notre capacité collective de discuter, comprendre et gérer les défis et les opportunités.

La société

Le progrès scientifique, la commercialisation et la diffusion des innovations sont des processus sociaux qui se déroulent à mesure que s'élaborent et s'échangent des idées, des valeurs, des intérêts et des normes sociales dans différents domaines. C'est pourquoi il est difficile de cerner pleinement l'impact social de nouveaux systèmes technologiques : nos sociétés comportent un maillage de nombreux éléments et beaucoup d'innovations résultent en partie de cette intrication d'éléments sociaux.

Le problème majeur de nos sociétés consistera à assimiler la modernité tout en se nourrissant des éléments traditionnels de notre système de valeurs. Il est fort possible que la Quatrième Révolution Industrielle, qui bouscule nombre de nos postulats fondamentaux, vienne exacerber les tensions qui existent entre des sociétés profondément religieuses défendant leurs

valeurs fondamentales et des individus ayant une vision du monde plus laïque. Le danger majeur pour la coopération et la stabilité globales sera peut-être le fait de groupes radicaux combattant le progrès avec une violence extrême ancrée dans une idéologie.

« Dans toutes les périodes de changement technologique majeur, les individus, les entreprises et les institutions saisissent l'ampleur du changement, mais se sentent souvent dépassés par lui, faute d'en connaître les conséquences[52] », note le sociologue Manuel Castells, professeur de technologie, communication et société à l'Annenberg School for Communication and Journalism de l'Université de Californie. C'est précisément cette impression d'être dépassé, due à l'ignorance, que nous devons combattre : pour cela, il nous faut mieux connaître la façon dont les différentes communautés qui constituent la société moderne se forment, se développent et interagissent.

La discussion précédente sur les différents impacts de la Quatrième Révolution Industrielle sur l'économie, les entreprises, la géopolitique et la sécurité internationale, les régions et les villes le montre clairement : la nouvelle révolution

technologique aura de multiples influences sur la société. Dans la section suivante, je vais explorer deux facteurs majeurs du changement : comment le risque d'inégalités croissantes pèse sur la classe moyenne, et comment la diffusion des médias numériques modifie la façon dont les communautés se forment et interagissent.

La montée des inégalités et les classes moyennes

Les débats concernant l'impact sur l'économie et les entreprises ont mis en lumière un certain nombre de mouvements structurels qui ont contribué à la montée des inégalités, mouvement qui peut encore s'aggraver avec le déploiement de la Quatrième Révolution Industrielle. Avec les robots et les algorithmes, le capital se substitue de plus en plus au travail, alors que l'investissement (ou plus exactement la création d'une entreprise dans l'économie numérique) exige moins de capitaux. Dans le même temps, les marchés du travail se polarisent autour d'une gamme limitée de compétences techniques ; les plateformes numériques et les marchés globalisés offrent des salaires démesurés à un

petit nombre de « stars ». Dans ce contexte, le vainqueur sera celui qui s'intégrera pleinement à des écosystèmes d'innovation en inventant des idées, des business models, des produits et services nouveaux, plutôt que celui qui ne pourra apporter qu'un faible niveau de qualification ou du capital ordinaire.

Ces dynamiques expliquent pourquoi on tient la technologie pour responsable de la stagnation, voire de la diminution des revenus pour la majeure partie de la population des pays développés. De fait, nous vivons dans un monde fortement inégal. Selon le *Global Wealth Report 2015* du Crédit suisse, la moitié de la richesse mondiale est détenue par 1 % de la population totale, alors que « la moitié la plus pauvre de la population possède collectivement moins de 1 % du total des richesses mondiales[53] ». L'Organisation pour la coopération et le développement économiques (OCDE) signale que le revenu moyen des 10 % les plus riches de la population des pays de l'OCDE est environ neuf fois celui des 10 % les plus pauvres[54]. De plus, dans la plupart des pays, l'inégalité interne augmente, même dans les pays qui ont connu une croissance rapide de toutes les tranches de revenu et une baisse spectaculaire du nombre de

personnes vivant dans la pauvreté. En Chine, par exemple, le coefficient de Gini pour la Chine est passé de 0,30 dans les années 1980 à plus de 0,45 en 2010[55].

La montée des inégalités n'est pas simplement un fait économique préoccupant ; c'est un défi social majeur. Dans leur livre *The Spirit Level: Why Greater Equality Makes Societies Stronger*, les épidémiologistes britanniques Richard Wilkinson et Kate Pickett présentent des données montrant que les sociétés plus inégales ont tendance à être plus violentes, connaissent un plus grand nombre de personnes incarcérées, un taux plus élevé de maladies mentales et d'obésité, une espérance de vie plus courte et un niveau de confiance moindre. Ils montrent qu'inversement, à revenu égal, les sociétés égalitaires ont des niveaux plus élevés de bien-être chez l'enfant, un stress plus faible, moins de toxicomanie et une mortalité infantile inférieure[56]. D'autres chercheurs ont mis en évidence le fait que des niveaux élevés d'inégalités augmentent la ségrégation et réduisent les performances scolaires chez les enfants et les jeunes adultes[57].

On trouve aussi la crainte largement répandue que de hauts niveaux d'inégalités soient associés

à une forte instabilité sociale, même si, sur ce dernier point, les données empiriques sont moins catégoriques. Parmi les 29 risques globaux et les 13 tendances globales identifiés dans le *Global Risks Report 2016* du Forum, les corrélations les plus solides se situent entre augmentation des inégalités de revenu, chômage ou sous-emploi et instabilité sociale profonde. Comme on le verra en détail plus loin, un monde plus connecté avec un niveau d'attentes plus élevé peut engendrer des risques sociaux importants si la population a le sentiment de n'avoir aucune chance d'accéder à la prospérité ou de donner un sens à sa vie.

De nos jours, un emploi de classe moyenne ne garantit plus le niveau de vie correspondant : sur les vingt dernières années, sur quatre marqueurs sociaux emblématiques de la classe moyenne, (instruction, santé, retraites et propriété du logement), on constate une très faible progression des classes moyennes. Aux États-Unis et au Royaume-Uni, le prix de l'éducation atteint des sommets. Cette économie de marché dans laquelle le gagnant rafle toute la mise, et dont la classe moyenne est de plus en plus exclue, pourrait bien engendrer un sentiment de malaise et d'abandon conduisant à l'affrontement social.

La communauté

Dans une perspective sociétale globale, l’un des effets majeurs (et le plus évident) de la numérisation est l’émergence d’une société « narcissique » – un processus d’individualisation et l’apparition de nouvelles formes d’appartenance communautaire. Désormais, le sentiment d’appartenance à une communauté est davantage défini par des projets personnels et des valeurs et orientations individuelles que par l’appartenance spatiale (la communauté locale), le travail et la famille.

Sous des formes constamment renouvelées, les médias numériques, qui sont au cœur de la Quatrième Révolution Industrielle, jouent un rôle moteur dans la structuration individuelle et collective de la société et de la communauté. Comme l’analyse le Forum dans son rapport *Digital Media and Society*, les médias numériques créent des types de relations radicalement nouvelles, permettant aux utilisateurs d’entretenir des correspondances voire des liens d’amitié malgré les contraintes géographiques ou temporelles, inaugurant de nouveaux groupes d’intérêt et autorisant ceux qui sont socialement ou physiquement isolés à

entrer en relation avec leurs semblables. Par leur facilité d'accès, leur faible coût et leur caractère « despatialisé », les médias numériques permettent également une plus grande interaction par-delà toutes les barrières sociales, économiques, culturelles, politiques, religieuses et idéologiques.

L'accès aux médias numériques procure des avantages substantiels au plus grand nombre. Non seulement, ils fournissent de l'information (ainsi les réfugiés fuyant la Syrie utilisent Google Maps et les groupes Facebook pour planifier leur itinéraire et éviter d'être exploités par les passeurs[58]), mais ils permettent également aux individus de s'exprimer, de participer au débat et à la prise de décision comme citoyens.

Malheureusement, si la Quatrième Révolution Industrielle renforce le pouvoir des citoyens, elle peut également se retourner contre leurs intérêts. Le *Global Risks Report 2016* du Forum décrit le phénomène par lequel les individus et les communautés se trouvent simultanément dotés et privés de pouvoir, du fait que les gouvernements, les entreprises et les groupes d'intérêt manipulent les technologies émergentes (voir encadré 7).

Ouverts à tous, les médias numériques peuvent également être utilisés par des acteurs non étatiques, notamment des groupes mal intentionnés désireux de diffuser leur propagande et de recruter des militants pour leurs causes extrémistes, comme on l'a vu récemment avec la montée de l'organisation État islamique et d'autres organisations terroristes sachant parfaitement utiliser les réseaux sociaux à des fins de communication interne comme de manipulation.

La dynamique de partage qui caractérise l'usage des médias sociaux risque fort de pervertir les mécanismes de prise de décision et de constituer une menace pour la société civile. Paradoxalement, le grand nombre de canaux numériques accessibles risque d'entraîner un rétrécissement des sources d'informations de l'individu, une polarisation en une « spirale du silence », pour reprendre l'expression de Sherry Turkle, professeure de sciences sociales, spécialiste des questions scientifiques et technologiques au MIT. Ce phénomène est d'autant plus dangereux que ce que nous lisons, partageons et voyons dans le contexte des médias sociaux façonne nos choix politiques et civiques.

Encadré 7

Le citoyen entre gain et perte de pouvoir

Le « citoyen entre gain et perte de pouvoir » fait référence à la dynamique née de la tension entre deux tendances opposées : fort du pouvoir qu'il tire des changements technologiques qui lui facilitent l'accès à l'information, la communication et l'action militante, l'individu découvre de nouveaux modes de participation à la vie civique et politique. Dans le même temps, l'individu, la société civile, les mouvements sociaux et les collectivités locales se sentent de plus en plus exclus de toute participation effective aux processus de décision traditionnels, y compris le vote et les élections, et privés de leur capacité d'influencer et de faire entendre leur voix auprès des institutions et détenteurs de pouvoir au niveau national et régional.

À l'extrême, il y a le risque réel que les gouvernements puissent mobiliser une

combinaison de technologies pour réprimer ou contrer certaines actions lancées par des collectifs et groupes d'individus de la société civile cherchant à rendre plus transparente l'action des gouvernements et des entreprises et à promouvoir le changement. Dans de nombreux pays, on constate que l'espace alloué à la société civile se rétrécit, car les gouvernements, par des mesures législatives et politiques, cherchent à limiter l'indépendance des collectifs issus de la société civile et à brider leur action. La Quatrième Révolution Industrielle dispose d'instruments permettant de nouvelles formes de surveillance et d'autres moyens de contrôle défavorables à des sociétés saines et ouvertes.

Source : Global Risks Report 2016, World Economic Forum.

À titre d'exemple, une étude de l'impact des messages postés sur Facebook à la sortie des urnes montre que ceux-ci « augmentent la participation directement de 60 000 électeurs et

indirectement par contagion sociale de 280 000 autres électeurs, soit un total de 340 000 voix supplémentaires[59] ». Cette étude met en lumière le pouvoir qu'ont les plateformes numériques de sélectionner et de promouvoir les médias que nous consultons en ligne. Elle révèle également la possibilité qu'ont les technologies en ligne de fusionner les formes traditionnelles d'engagement civique (telle l'élection de représentants au niveau local, régional ou national) avec des innovations qui donnent aux citoyens une influence plus directe sur les décisions qui les affectent collectivement.

Comme presque tous les impacts évoqués dans cette section, il est clair que la Quatrième Révolution Industrielle est porteuse à la fois d'immenses opportunités et de risques significatifs. Avec l'émergence de cette révolution, le monde est confronté à un problème clé : comment recueillir des données en plus grand nombre et de meilleure qualité sur les avantages et les défis qu'elle représente pour la cohésion sociale.

L'individu

La Quatrième Révolution Industrielle ne change pas seulement ce que nous faisons, mais aussi qui nous sommes. Les impacts qu'elle aura sur nous en tant qu'individus sont multiples : elle affectera notre identité sous ses divers aspects – notre conception de l'intimité, de la propriété, nos modèles de consommation, le temps que nous consacrons au travail et aux loisirs, notre manière de gérer notre carrière, de cultiver nos compétences. Elle influencera les modalités de nos relations sociales, les hiérarchies dont nous dépendons, notre santé et, peut-être plus tôt que prévu, elle pourrait aboutir à certaines formes d'« augmentation humaine » qui nous conduiront à reconsidérer la définition même de l'humain. De tels changements suscitent à la fois l'enthousiasme et la crainte, car ils nous atteignent à une vitesse sans précédent.

Jusqu'à maintenant, la technologie nous a principalement permis de faire les choses de manière plus facile, plus rapide et plus efficace. Elle nous a également apporté des occasions de développement personnel. Mais nous commençons à voir que, cette fois, la promesse et les enjeux sont différents. Pour toute une série de raisons déjà évoquées, nous sommes au seuil d'un changement systémique radical qui exige

des êtres humains qu'ils s'adaptent en continu. En conséquence, on risque d'assister à une polarisation croissante entre ceux qui adoptent le changement et ceux qui lui résistent.

Ceci engendrera une inégalité dépassant de loin les inégalités sociétales décrites plus haut. Cette inégalité « ontologique » opposera ceux qui s'adaptent à ceux qui résistent, les gagnants et les perdants sur le plan matériel dans tous les sens du terme. Les gagnants pourront peut-être même bénéficier d'une certaine forme d'« amélioration humaine » radicale engendrée par certains aspects de la Quatrième Révolution Industrielle (comme le génie génétique) à laquelle les perdants n'auront pas accès. On risque de voir apparaître des conflits de classe et d'autres types d'affrontements inconnus jusqu'alors. Cette division en puissance et les tensions qu'elle attise seront aggravées par un fossé générationnel entre d'une part ceux qui sont nés dans le monde numérique et l'ont toujours connu et d'autre part les plus âgés, condamnés à s'adapter. Elle soulève également de nombreuses questions éthiques.

En tant qu'ingénieur, je suis très technophile et parmi les premiers à adopter les innovations. Pourtant je me demande, comme nombre de

psychologues et de sociologues, comment l'inexorable intégration de la technologie dans nos vies affectera notre notion d'identité : ne risque-t-elle pas d'entamer certaines de nos qualités humaines fondamentales, comme l'introspection, l'empathie et la compassion ?

Identité, moralité et éthique

Les innovations surprenantes suscitées par la Quatrième Révolution Industrielle, des biotechnologies à l'IA, apportent une nouvelle définition de ce que signifie être humain. Les bornes de notre espérance de vie, de notre santé, de nos capacités cognitives, de nos facultés, se trouvent repoussées selon des modalités qui relevaient jusqu'alors de la science-fiction. Parallèlement aux progrès de la connaissance, il est essentiel que nous nous engagions assidûment dans un débat moral et éthique autour de ces nouvelles découvertes. En notre double qualité d'être humain et d'animal social, nous devons réfléchir individuellement et collectivement à notre réaction devant des problèmes tels que la prolongation de la vie, les

bébés « sur mesure » ou l'extraction des souvenirs.

Dans le même temps, il faut aussi admettre que ces découvertes incroyables peuvent également être manipulées et mises au service d'intérêts particuliers qui ne coïncident pas nécessairement avec ceux du plus grand nombre. Dans le quotidien *The Independent*, à propos des conséquences de l'intelligence artificielle, l'écrivain et chercheur en physique théorique Stephen Hawking et ses collègues Stuart Russell, Max Tegmark et Frank Wilczek écrivent : « Si l'impact à court terme de l'IA dépend de qui la contrôle, son impact à long terme repose sur la question de savoir si elle peut être contrôlée […] Nous devons nous demander ce que nous pouvons faire maintenant pour augmenter nos chances d'en tirer des bénéfices tout en évitant les risques[60] ».

Un cas intéressant dans ce domaine est OpenAI, une association de recherche à but non lucratif spécialisée dans l'intelligence artificielle, créée en décembre 2015 dans le but de « promouvoir l'intelligence artificielle et développer une AI à visage humain qui bénéficiera à l'humanité entière, libre du besoin de générer un rendement financier[61] ».

Cette entreprise, avec à sa tête Sam Altman, président de Y Combinator, et Elon Musk, CEO de Tesla Motors, a réuni 1 milliard de dollars de promesses de financement. Cette initiative met en évidence un point clé évoqué plus haut, à savoir que l'un des impacts majeurs de la Quatrième Révolution Industrielle est le pouvoir qui peut naître d'une fusion de plusieurs technologies nouvelles. Dans ce cas, comme Sam Altman l'affirme, « la meilleure chose qui puisse arriver à l'IA, c'est de devenir un instrument pour renforcer le pouvoir individuel et améliorer le genre humain, à condition qu'elle soit accessible à tous gratuitement[62] ».

L'impact humain de certaines technologies particulières, comme Internet ou les smartphones, est relativement bien compris et largement discuté dans les cercles d'experts et d'universitaires. D'autres impacts sont en revanche plus difficiles à cerner. C'est le cas de l'IA ou de la biologie de synthèse. Dans un avenir proche, on verra des bébés « sur mesure », avec toute une série d'autres modifications de notre caractère humain, de la suppression de maladies génétiques à l'augmentation de nos capacités cognitives. Cela ne manquera pas de soulever un certain nombre

d’interrogations éthiques et spirituelles majeures que nous devons affronter en tant qu’êtres humains (voir encadré 8).

Encadré 8

Aux limites de l’éthique

Les progrès technologiques entraînent un déplacement des frontières de l’éthique. Les progrès stupéfiants de la biologie doivent-ils servir uniquement à guérir maladies et blessures, ou bien aussi à améliorer l’espèce humaine ? Nous risquons alors de transformer la parentalité en une extension de la société de consommation : nos enfants deviendront-ils les objets de notre désir, « fabriqués sur mesure » ? Et que signifie « améliorer » ? Se libérer des maladies ? Vivre plus longtemps ? Devenir plus intelligent ? Courir plus rapidement ? Avoir une certaine physionomie ?

L’intelligence artificielle nous confronte à des questions tout aussi complexes et à double tranchant. Imaginez une machine qui devance nos pensées,

voire les dépasse. Amazon et Netflix sont déjà équipés d'algorithmes qui prévoient les films et livres que nous pourrions aimer. Les sites de rencontre et de recherche d'emploi suggèrent des partenaires ou des emplois (à proximité ou n'importe où dans le monde) dont le système estime qu'il pourrait nous convenir. Que faire ? Devons-nous suivre le conseil d'un algorithme ou faire confiance aux suggestions de notre famille, nos amis ou nos collègues ? Aurons-nous recours à un robot médical équipé d'un système d'intelligence artificielle qui établira un diagnostic quasiment infaillible, ou resterons-nous fidèle au médecin humain qui nous a soigné pendant des années et à ses manières rassurantes ?

Réfléchir à ces exemples et à leur implication pour l'espèce humaine nous amène en territoire inconnu, à l'aube d'une transformation totalement inédite de l'espèce humaine.

Une autre question fondamentale a trait à la capacité prédictive de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique. Si notre comportement

devient prévisible en toute situation, quelle marge de liberté aurons-nous, ou aurons-nous l'impression d'avoir, pour nous démarquer de la prévision ? Risquons-nous d'évoluer vers une situation dans laquelle les êtres humains eux-mêmes commenceront à agir comme des robots ? Ce qui mène à une question plus philosophique : comment préserver notre individualité, la source de notre diversité et de la démocratie à l'ère numérique ?

La relation à autrui

Comme le suggèrent les questions éthiques évoquées précédemment, plus notre monde high-tech subit l'emprise du numérique, plus nous avons besoin de contact humain, nourri de relations étroites et de lien social. L'inquiétude monte à mesure que la Quatrième Révolution Industrielle renforce nos liens individuels et collectifs avec la technologie : cette tendance pourrait affaiblir nos compétences sociales et notre aptitude à l'empathie. On constate que c'est déjà le cas. En 2010, une équipe de

chercheurs de l'université du Michigan a mis en évidence un recul de 40 % de l'empathie chez les étudiants d'aujourd'hui (par rapport à leurs camarades d'il y a 20 ou 30 ans), la majeure partie de ce déclin étant postérieure à l'année 2000[63].

Si l'on en croit Sherry Turkle, professeure au MIT, 44 % des adolescents ne se déconnectent jamais, même en faisant du sport ou en partageant un repas avec leur famille ou leurs amis. Les conversations en face-à-face étant supplantées par les interactions en ligne, on peut craindre qu'une génération entière de jeunes accaparés par les médias sociaux ait quelque mal à écouter, croiser le regard ou interpréter les signes gestuels[64].

Prenons l'exemple de notre rapport aux technologies mobiles. Étant constamment connectés, nous risquons de perdre l'une de nos ressources essentielles : le temps de marquer la pause, de réfléchir et d'entamer une discussion sérieuse, sans recourir à la technologie ou à un autre média social. Sherry Turkle cite des études prouvant que, quand deux personnes parlent, la seule présence d'un téléphone sur la table ou dans leur vision périphérique modifie à la fois le sujet qu'elles évoquent et l'intensité de leur

relation[65]. Cela n'implique pas que nous devions abandonner nos téléphones, mais plutôt que nous devons les utiliser « avec discernement ».

D'autres experts expriment des inquiétudes analogues. L'écrivain Nicholas Carr, spécialiste des questions de technologie et de culture, déclare que plus nous passons du temps immergés dans les eaux numériques, plus nos capacités cognitives deviennent superficielles, parce que nous cessons d'exercer un contrôle sur notre attention : « Internet est par essence un outil de déconcentration, un système conçu pour diviser l'attention. Les interruptions fréquentes fragmentent notre pensée, affaiblissent notre mémoire et nous rendent nerveux. Plus notre niveau de réflexion est complexe, plus grand est le dommage causé par la distraction[66] ».

Dès 1971, Herbert Simon, prix Nobel de sciences économiques en 1978, proclamait qu'« une abondance d'information engendre une pauvreté de l'attention ». La situation est bien pire aujourd'hui, notamment pour les décideurs, qui tendent à être submergés avec trop de « trucs », totalement dépassés et surmenés, dans un état de stress constant. « À l'ère de la vitesse, rien de plus exaltant que la lenteur », écrit l'essayiste Pico Iyer à propos des voyages.

« À une époque de distraction, la concentration est le luxe ultime. À une époque de mouvement constant, il est urgent de savoir rester tranquille[67]. »

Notre cerveau, alerté par tous les instruments numériques qui nous relient 24 heures sur 24, risque de devenir une machine en perpétuel mouvement, qui nous mette dans une agitation incessante. Il m'arrive assez souvent de parler à des dirigeants qui déclarent qu'ils n'ont plus le temps de faire une pause et de réfléchir, encore moins de s'offrir le « luxe » de lire de bout en bout un court article. Dans tous les pans de la société mondialisée, les décideurs semblent être dans un état d'épuisement croissant, tellement submergés par de multiples sollicitations concurrentes qu'ils passent de la frustration à la résignation, et parfois au désespoir. Dans cette nouvelle ère numérique, il est en effet bien difficile, mais non impossible, de prendre du recul.

La gestion des informations publiques et privées

Avec la généralisation d'Internet et de l'interconnexion, la confidentialité des données personnelles devient un thème majeur. Cette question prend une importance croissante car, comme le note Michael Sandel, spécialiste de philosophie politique à l'Université Harvard, « il semble que, de plus en plus, nous soyons prêts à faire une croix sur la confidentialité pour pouvoir bénéficier des avantages pratiques de tous ces objets que nous utilisons quotidiennement[68] ». Nourri en partie par les révélations d'Edward Snowden, le débat général sur le sens de la confidentialité dans un monde plus transparent ne fait que commencer : on voit comment Internet peut être un outil exceptionnel de libération et de démocratisation, mais peut aussi favoriser une surveillance de masse indiscriminée et presque illimitée.

Pourquoi attacher tant d'importance à la protection des données personnelles ? Instinctivement, nous comprenons tous pourquoi la confidentialité est essentielle sur le plan individuel. Même ceux qui affirment qu'ils se soucient fort peu de la confidentialité et qu'ils n'ont rien à cacher, ne tiennent pas nécessairement à mettre sur la place publique l'ensemble de leurs faits et gestes. De

nombreuses recherches montrent que, lorsque quelqu'un se sait observé, il devient plus conformiste et plus docile.

Cependant, cet ouvrage n'a pas pour but premier de proposer une réflexion poussée sur le sens de la confidentialité ou de traiter des questions concernant la propriété des données. Pourtant, il me semble que l'on verra dans les années à venir s'amplifier le débat sur un certain nombre de questions fondamentales concernant la perte de contrôle sur les données (voir encadré 9).

Ces questions sont incroyablement complexes. On commence juste à entrevoir leurs possibles implications sur le plan psychologique, moral et social. En ce qui concerne la confidentialité sur un plan personnel, j'entrevois le problème suivant : si nos vies deviennent totalement transparentes et si les indiscrétions, grandes ou petites, sont connues de tous, qui aura le courage d'assumer des responsabilités à haut niveau ?

Avec la Quatrième Révolution Industrielle, la technologie envahit et domine notre vie personnelle, mais on commence juste à comprendre comment ce raz-de-marée technologique affectera notre moi interne.

Finalement, c'est à chacun de nous qu'il revient de mettre la technologie à notre service et de ne pas en être esclave. Sur le plan collectif, nous devons également faire en sorte de comprendre et d'analyser correctement les problèmes que pose la technologie. C'est le seul moyen pour que la Quatrième Révolution Industrielle permette d'améliorer notre bien-être au quotidien et à plus longue échéance.

Encadré 9

Santé et confidentialité

L'évolution actuelle des dispositifs portables de santé laisse entrevoir à quel point les questions de confidentialité sont complexes. Plusieurs compagnies d'assurance envisagent de faire cette proposition à leurs assurés : nous vous offrons un rabais sur votre prime d'assurance à condition que vous portiez un dispositif qui surveille votre santé (heures consacrées au sommeil, au sport, nombre de marches montées chaque jour, nombre et type de calories ingérées, etc.) et que vous acceptiez

que ces informations soient communiquées à votre mutuelle.

Est-ce là une nouveauté que nous devrions bien accueillir parce qu'elle nous incite à vivre plus sainement ? Ou bien est-ce un pas inquiétant vers un mode de vie où la surveillance (de la part des pouvoirs publics comme des entreprises) devient toujours plus intrusive ? Pour le moment, cet exemple concerne un choix individuel – la décision d'accepter ou de refuser de porter un dispositif de contrôle médical.

Allons plus loin : imaginons que c'est l'employeur qui demande à son personnel de porter cet appareil enregistreur des données de santé parce que l'entreprise veut améliorer sa productivité et peut-être aussi réduire les coûts d'assurance maladie. Si l'entreprise oblige les salariés récalcitrants à obéir ou payer une amende, que va-t-il se passer ? Ce qui apparaissait précédemment comme une décision personnelle – porter ou non un moniteur – devient une question de conformité aux normes sociales, qui peut paraître inacceptable.

Les voies de l'avenir

La Quatrième Révolution Industrielle est sans doute source de disruption, mais les problèmes qu'elle soulève sont de notre ressort et nous avons la capacité d'y faire face. Il nous faut mettre en œuvre les changements et les mesures permettant de nous adapter (et de nous épanouir) dans ce nouvel environnement émergent.

Nous ne pourrons relever ces défis que si nous mobilisons la sagesse collective avec notre cerveau, notre cœur et notre âme. Pour ce faire, je pense que nous devons maîtriser le risque de disruption en cultivant et en mobilisant quatre facultés différentes :

– sur le plan contextuel (le cerveau) : la faculté de comprendre et de mobiliser notre savoir ;

– sur le plan émotionnel (le cœur) : la faculté d'ordonner et d'assimiler nos pensées et nos sentiments et notre rapport à nous-mêmes et à autrui ;
– sur le plan spirituel (l'âme) : la faculté de mobiliser le sens des objectifs individuels et collectifs, la confiance et d'autres vertus pour impulser le changement et agir dans l'intérêt général ;
– sur le plan physique (le corps) : la faculté d'entretenir notre santé et notre bien-être personnels et ceux de notre entourage afin d'être en mesure de déployer l'énergie nécessaire à la transformation des systèmes individuels et collectifs.

L'intelligence contextuelle – le cerveau

Les bons dirigeants comprennent et maîtrisent l'intelligence contextuelle[69]. Le sens du contexte est défini comme la capacité et la volonté d'anticiper les tendances émergentes et de faire le lien entre elles. Ces traits sont, depuis des générations, caractéristiques d'un leadership

efficace et, avec la Quatrième Révolution Industrielle, ils deviennent une condition nécessaire à l'adaptation et à la survie.

Pour développer leur intelligence contextuelle, les décideurs doivent d'abord comprendre la valeur des différents réseaux. Pour affronter une disruption importante, leur meilleure arme est d'être fortement connectés et bien intégrés dans des réseaux par-delà les frontières traditionnelles. Les décideurs doivent posséder une bonne aptitude à s'impliquer rapidement aux côtés de tous ceux avec lesquels ils ont des intérêts communs. C'est pourquoi il nous faut aspirer à être plus connectés et mieux intégrés.

Nous ne parviendrons à une perspective globale sur la situation qu'en rassemblant et en faisant collaborer les responsables des différentes sphères : monde des affaires, gouvernement, société civile, monde religieux ou universitaire, jeunesse. Cela est en outre indispensable pour développer et mettre en œuvre les idées et les solutions intégrées qui permettront l'avènement d'un développement durable.

Tel est le principe sous-jacent à la théorie de la gouvernance multipartite (*multistakeholder*

theory, ce qu'au World Economic Forum on a coutume d'appeler « l'esprit de Davos »), que j'ai évoquée pour la première fois dans un livre publié en 1971[70]. Les frontières entre secteurs économiques et entre professions sont artificielles et s'avèrent de plus en plus contreproductives. Plus que jamais, il est essentiel de faire tomber ces barrières en utilisant le pouvoir des réseaux pour nouer des partenariats efficaces. Les entreprises et les organisations qui ne suivent pas cette voie et ne passent pas de la parole aux actes en constituant des équipes diversifiées auront du mal à encaisser les ruptures qu'apporte l'ère numérique.

Les leaders doivent également se montrer capables d'ajuster leurs structures mentales et conceptuelles et leurs principes d'organisation. Dans le monde moderne en bouleversement rapide, nous sommes condamnés à nous fossiliser si nous pensons de manière compartimentée et statique : pour reprendre l'opposition évoquée par Isaiah Berlin dans son essai de 1953 à propos des écrivains et philosophes : mieux vaut être renard que hérisson. Évoluer dans un environnement de plus en plus complexe et disruptif exige l'agilité

intellectuelle et sociale du renard plutôt que la persévérance figée et mesquine du hérisson. Sur le plan pratique, ceci signifie que les leaders ne peuvent pas se permettre de penser de manière compartimentée. Ils doivent aborder les problèmes et les défis de façon globale, souple et évolutive, en intégrant en permanence nombre d'orientations et d'opinions diverses.

L'intelligence affective – le cœur

L'intelligence affective complète l'intelligence contextuelle plutôt qu'elle ne la remplace ; cette faculté est plus indispensable qu'elle ne l'a jamais été. Il ne faut pas concevoir l'intelligence affective comme antinomique par rapport à l'intelligence rationnelle, comme le « triomphe du cœur sur le cerveau – c'est l'intersection singulière de l'un et de l'autre[71] », selon l'expression de David Caruso, spécialiste de psychologie du management, chercheur au Laboratoire d'intelligence affective de l'université Yale. La littérature scientifique, montre que l'intelligence affective peut rendre les leaders plus créatifs et leur permettre de devenir des forces de changement.

Pour les chefs d’entreprise et les responsables politiques, l’intelligence affective constitue la base essentielle des compétences indispensables pour réussir à l’ère de la Quatrième Révolution Industrielle, à savoir la connaissance et le contrôle de soi, la motivation, l’empathie et les compétences sociales[72]. Les spécialistes de la question montrent que les grands décideurs se distinguent des autres par leur niveau d’intelligence affective et leur aptitude à entretenir constamment cette qualité.

Dans un monde caractérisé par de puissants et constants changements, les institutions menées par des dirigeants doués d’intelligence affective seront non seulement plus créatives mais également mieux à même d’être plus agiles et résilientes – un trait essentiel pour faire face à la disruption. La mentalité numérique, qui suppose la capacité de formaliser des collaborations transversales, d’aplanir des hiérarchies et de constituer des environnements favorables aux idées nouvelles, est fortement dépendante de l’intelligence affective.

L’intelligence inspirée – l’âme

À côté de l'intelligence contextuelle et affective, il existe une troisième faculté essentielle pour surfer efficacement sur la vague de la Quatrième Révolution Industrielle. C'est ce que j'appelle l'intelligence inspirée, d'après le latin *spirare*, qui signifie respirer ; l'intelligence inspirée est liée à notre quête continuelle de sens et d'objectifs. Elle s'attache à nourrir notre élan créateur et à promouvoir l'humanité à un plus haut degré de conscience morale collective, fondée sur le sentiment de partager un destin commun.

L'idée de partage est ici centrale. Je l'ai déjà dit : si la technologie est l'une des raisons possibles de l'avènement d'une société narcissique, nous devons absolument rééquilibrer cette tendance individualiste en nous imprégnant collectivement du sentiment d'un but commun. Nous sommes tous dans la même barque et, faute de développer collectivement le sentiment d'un objectif commun, nous risquons fort d'être incapables de relever les défis de la Quatrième Révolution Industrielle et d'en recueillir pleinement les bénéfices.

Dans cette perspective, la confiance est essentielle. Un niveau élevé de confiance favorise l'implication et le travail d'équipe, ce

qui s’avère encore plus crucial avec la Quatrième Révolution Industrielle, centrée sur l’innovation collaborative. Seul un climat de confiance rend possible ce processus car le nombre d’éléments et de questions en jeu est extrêmement élevé. En fin de compte, tous les partenaires contribuent à s’assurer que l’innovation est bien orientée vers l’intérêt général. Si un groupe important de partenaires a le sentiment qu’il n’en est pas ainsi, la confiance sera entamée.

Dans un monde où rien n’est jamais stable, la confiance devient un atout précieux. Elle ne peut être acquise et conservée que si des décideurs, bien intégrés au sein d’une communauté, prennent toutes leurs décisions avec le souci de l’intérêt général, et non dans le seul but de servir leurs intérêts individuels.

L’intelligence physique – le corps

Les trois types d’intelligence, contextuelle, affective et inspirée, sont à part égale des qualités essentielles pour faire face à la Quatrième Révolution Industrielle et en tirer profit. Cependant, ces trois facultés appellent le

soutien vital d'une quatrième, l'intelligence physique, qui suppose de prendre soin de sa santé et de son bien-être. C'est essentiel car, à mesure que le rythme du changement s'accélère, que le degré de complexité augmente, que le nombre d'acteurs impliqués dans nos processus de décisions se multiplie, le besoin de rester en forme et de garder son calme en dépit des tensions devient plus pressant.

L'épigénétique, une branche de la biologie en plein essor ces dernières années, étudie les mécanismes par lesquels l'environnement modifie l'expression de nos gènes. Elle démontre de façon irréfutable l'importance fondamentale du sommeil, de la nutrition et de l'exercice pour notre vie. L'exercice régulier, par exemple, a un impact positif sur notre vie intellectuelle et notre bien-être. Il affecte directement nos performances professionnelles et en fin de compte, notre capacité de réussite.

Il est extrêmement important de savoir trouver de nouvelles manières de maintenir notre corps en harmonie avec notre esprit, nos émotions, et le monde en général, et nous en apprenons plus à ce sujet grâce aux avancées incroyables accomplies dans de nombreux domaines, notamment les sciences médicales, les

dispositifs portables, les technologies implantables et les sciences cognitives. En outre, je répète souvent qu'un leader doit avoir des « nerfs solides » pour affronter la kyrielle de défis complexes qu'il doit gérer simultanément. Ce sera d'une importance cruciale pour surfer sur la vague de la Quatrième Révolution Industrielle et contrôler les possibilités qu'elle offre.

Vers une nouvelle renaissance culturelle

Comme l'écrit le poète Rainer Maria Rilke, « l'avenir s'infiltre en nous […] afin de s'y transformer, longtemps avant son arrivée[73] ». N'oublions pas que l'ère dans laquelle nous vivons à présent, l'Anthropocène ou ère de l'Humain, correspond à la première fois, dans l'histoire du monde, où les activités humaines sont la force principale qui façonne tous les systèmes vivants sur terre.

À nous de jouer.

Nous nous trouvons aujourd'hui à l'aube de la Quatrième Révolution Industrielle, désireux, et

surtout capables, d'influer sur son cours.

Savoir ce qui est nécessaire pour réussir est une chose ; agir en est une autre. Qu'est-ce qui nous attend et comment s'y préparer ?

Voltaire, le philosophe du siècle des Lumières qui a vécu longtemps à quelques kilomètres du lieu où j'écris ce livre, a dit : « Le doute n'est pas une condition agréable, mais la certitude est absurde[74]. » Il serait en effet naïf de prétendre que nous savons exactement où la Quatrième Révolution Industrielle va nous mener. Mais il serait tout aussi naïf d'être paralysé par la crainte et l'incertitude sur ce que pourrait être cette direction. Comme je l'ai souligné tout au long de ce livre, le cours que prendra la Quatrième Révolution Industrielle sera en dernier ressort déterminé par notre capacité de la façonner d'une manière qui libère pleinement ses potentialités.

De toute évidence, les défis sont aussi redoutables que les possibilités sont excitantes. C'est à nous d'œuvrer ensemble à transformer ces défis en opportunités, en anticipant correctement les effets à venir. Le monde est en évolution rapide, hyperconnecté, toujours plus complexe et plus fragmenté, mais nous pouvons

quand même façonner notre avenir d'une manière qui profite à tous. C'est maintenant le bon moment pour agir.

Une première étape vitale consiste à sensibiliser l'opinion publique à tous niveaux, ce qui est l'objectif de ce livre. Il faut cesser de prendre nos décisions sur la base d'une pensée compartimentée, notamment parce que les défis que nous rencontrons sont de plus en plus interconnectés. Seule une approche globalisante peut apporter la compréhension nécessaire pour traiter les nombreux problèmes soulevés par la Quatrième Révolution Industrielle. Il faudra pour cela des structures collaboratives flexibles, qui reflètent l'intégration des divers écosystèmes et prennent pleinement en compte toutes les parties prenantes, réunissant les secteurs publics et privés, et les esprits les plus éclairés au monde, dans tous les domaines.

Deuxièmement, sur la base d'une vision commune, il nous faudra élaborer un récit positif, partagé et complet sur la manière de façonner la Quatrième Révolution Industrielle pour les générations présentes et futures. On ignore sans doute encore le contenu exact de ce récit, mais on connaît quelques-uns des éléments essentiels qu'il devra inclure. Par exemple, il

explicitera les valeurs et les principes éthiques de nos futurs systèmes. Les marchés sont des moteurs efficaces de la création de richesse, mais nous devrons également veiller à garder les valeurs et l'éthique au cœur de tous nos comportements individuels et collectifs. En outre, ces récits doivent évoluer progressivement vers une plus grande hauteur de vue, passant de la simple tolérance respectueuse à l'attention pleine de compassion. Ils devraient également avoir une fonction intégratrice et être source de pouvoir pour chacun, sur la base de valeurs partagées.

Troisièmement, après avoir sensibilisé l'opinion et élaboré un récit commun, il faudra nous employer à restructurer notre système économique, social et politique afin de pouvoir mieux tirer parti des opportunités qui se présentent. De toute évidence, notre système actuel de prise de décision et notre modèle dominant de création de richesse ont été conçus au cours des trois premières révolutions industrielles et ont évolué progressivement. Cependant, ces systèmes ne sont plus à même de répondre aux besoins des générations actuelles et moins encore à ceux des générations futures. Ceci nécessitera certainement une innovation

systémique ; des bricolages ou des réformes à la marge ne sauraient suffire.

On le voit à chacune des trois étapes : on ne peut réussir sans une coopération et un dialogue constants, au niveau local, national et supranational ; toutes les parties prenantes doivent pouvoir s'exprimer. Nous devons être vigilants pour que les conditions de base soient réunies et ne pas nous limiter aux aspects techniques. Comme le rappelle Martin Nowak, professeur de mathématiques et de biologie à l'université Harvard, la coopération est « la seule chose susceptible de racheter l'humanité[75] ». Principal maître d'œuvre de l'évolution durant 4 milliards d'années, la coopération est depuis toujours une force motrice parce qu'elle nous permet de nous adapter dans un milieu sans cesse plus complexe ; elle renforce la cohésion politique, économique et sociale, condition même du progrès.

Je suis convaincu que, grâce à l'efficacité de la coopération multipartite, la Quatrième Révolution Industrielle pourra affronter – et probablement résoudre – les problèmes majeurs que rencontre aujourd'hui la planète.

En fin de compte, cela dépend des humains, de la culture et des valeurs. En effet, nous devrons déployer beaucoup d'énergie pour que tous les citoyens venant d'horizons culturels et de pays différents, riches ou pauvres, comprennent la nécessité de maîtriser la Quatrième Révolution Industrielle et les problèmes de civilisation qu'elle induit.

Ensemble, construisons un avenir vivable pour tous, en donnant à l'humain la première place, en redonnant du pouvoir aux citoyens, sans jamais oublier que toutes ces technologies nouvelles sont en premier lieu des outils faits par les hommes, pour des hommes.

Assumons donc la responsabilité collective d'un avenir dans lequel l'innovation et la technologie sont centrées sur l'humanité et l'impératif d'être au service de l'intérêt général ; veillons à les utiliser de telle sorte qu'elles nous orientent tous vers un développement plus durable.

Faisons encore un pas de plus. Je crois sincèrement que, si nous parvenons à la façonner de manière responsable, cette ère technologique nouvelle pourrait faire advenir une nouvelle renaissance culturelle, qui nous permettra de dépasser nos limites : nous créerons une

véritable civilisation globale. La Quatrième Révolution Industrielle a le pouvoir de robotiser l’humanité et d’ébranler ce qui a été traditionnellement pour nous porteur de sens : travail, communauté, famille, identité. Ou bien, au contraire, nous pouvons y trouver l’occasion de faire accéder l’humanité à une nouvelle conscience collective et morale basée sur le sentiment d’un destin commun. C’est à nous qu’il revient de faire en sorte que cette seconde hypothèse soit la bonne.

Remerciements

Tous les membres du World Economic Forum sont conscients de notre responsabilité, en tant qu'organisation internationale de coopération public-privé, de jouer le rôle de plateforme globale pour contribuer à cerner les problèmes induits par la Quatrième Révolution Industrielle et aider les différentes parties prenantes à inventer les solutions adéquates, en faisant preuve de hauteur de vue et de capacités d'anticipation, en collaboration avec nos partenaires, membres et intervenants.

Pour cette raison, le thème de la réunion annuelle 2016 du World Economic Forum qui s'est tenue à Davos-Klosters était « Maîtriser la Quatrième Révolution Industrielle ». Nous sommes désireux d'aider à catalyser des débats et des partenariats constructifs autour de ce sujet à travers tous nos défis, projets et réunions. La

réunion annuelle du Forum des nouveaux champions à Tianjin, en Chine, en juin 2016, était également un moment essentiel pour les leaders et innovateurs dans les domaines suivants : recherche, technologie, commercialisation, réglementation, afin de se rencontrer et d'échanger des idées sur la manière dont nous devrons orienter la Quatrième Révolution Industrielle pour le plus grand bien de tous. Mon souhait est que ce livre serve de point de départ et de guide pour toutes ces activités, offrant aux leaders un outil intellectuel pour traiter des implications politiques, sociales et économiques et pour comprendre les percées technologiques qui en sont la source.

Ce livre n'aurait pas vu le jour sans l'aide et l'appui enthousiastes de tous mes collègues du World Economic Forum. Je leur dois mille mercis. J'exprime en particulier ma gratitude à Nicholas Davis, Thierry Malleret et Mel Rogers qui m'ont assisté durant toute la phase de recherches et de rédaction.

Je suis également reconnaissant à mes collègues et à toutes les équipes qui ont contribué à des sections spécifiques du livre, en particulier Jennifer Blanke, Margareta Drzeniek-Hanouz, Silvia Magnoni et Saadia Zahidi sur les

sujets économiques et sociétaux ; Jim Hagemann Snabe, Mark Spelman et Bruce Weinelt sur le monde des affaires et l'industrie ; Dominic Waughray sur l'environnement ; Helena Leurent sur le gouvernement ; Espen Barth Eide et Anja Kaspersen sur la géopolitique et la sécurité internationale ; et Olivier Oullier sur les neurotechnologies.

En écrivant ce livre, j'ai pris la mesure de l'expertise exceptionnelle du personnel du Forum. Merci à tous ceux qui ont échangé des idées avec moi, en ligne ou en face-à-face. Je remercie ici particulièrement les membres du groupe de travail sur les technologies émergentes : David Gleicher, Rigas Hadzilacos, Natalie Hatour, Fulvia Montresor et Olivier Woeffray – et tous ceux qui ont consacré du temps à réfléchir à ces questions : Chidiogo Akunyili, Claudio Cocorocchia, Nico Daswani, Mehran Gul, Alejandra Guzman, Mike Hanley, Lee Howell, Jeremy Jurgens, Bernice Lee, Alan Marcus, Adrian Monck, Thomas Philbeck et Philip Shetler-Jones.

Ma gratitude profonde va également à tous les membres de la communauté du Forum qui m'ont aidé à forger ma réflexion sur la Quatrième Révolution Industrielle. Je suis particulièrement

reconnaissant à Andrew McAfee et Erik Brynjolfsson qui ont influencé mes idées concernant l'impact de l'innovation technologique et les grands problèmes et opportunités qui nous attendent, et à Dennis Snower et Stewart Wallis qui ont mis en avant l'importance de récits basés sur des valeurs si nous voulons réussir à orienter la Quatrième Révolution Industrielle pour le bien de tous.

Merci encore à Marc Benioff, Katrine Bosley, Justine Cassell, Mariette DiChristina, Murali Doraiswamy, Nita Farahany, Zev Furst, Nik Gowing, Victor Halberstadt, Ken Hu, Lee Sang-Yup, Alessio Lomuscio, Jack Ma, Ellen MacArthur, Peter Maurer, Bernard Meyerson, Andrew Maynard, William McDonough, James Moody, Andrew Moore, Michael Osborne, Fiona Paua Schwab, Feike Sijbesma, Vishal Sikka, Philip Sinclair, Hilary Sutcliffe, Nina Tandon, Farida Vis, Sir Mark Walport et Alex Wyatt, avec lesquels j'ai correspondu ou que j'ai interviewés pour ce livre.

Le réseau des Conseils de l'agenda mondial du Forum et nos « communautés tournées vers l'avenir » se sont fortement engagés et m'ont fourni des idées éclairantes sur tous les sujets abordés ici. Merci tout spécialement aux

Conseils de l'agenda mondial sur l'avenir de l'informatique et de la société, sur les Migrations et sur l'avenir des villes. Je suis également reconnaissant à la pléiade remarquable d'intellectuels qui ont si généreusement consacré leur temps et partagé leurs vues en la matière pendant le Sommet sur l'agenda mondial 2015 à Abou Dhabi, ainsi que les membres des hubs des Global Shapers, Young Global Leaders et Young Scientists du Forum, en particulier ceux qui ont participé *via* TopLink, la plateforme de collaboration et de connaissance virtuelle du Forum.

Merci également à Alejandro Reyes pour son travail éditorial, à Scott David pour la maquette, et à Kamal Kimaoui pour la mise en page.

Pour que le livre soit prêt à temps pour la réunion annuelle du Word Economic Forum, il a dû être rédigé en moins de trois mois, avec des collaborateurs de tous pays. Ceci reflète bien l'environnement réactif et dynamique de la Quatrième Révolution Industrielle. Aussi, finalement, c'est à vous, lecteur, que j'adresse ma gratitude profonde pour avoir accepté d'embarquer dans ce voyage avec moi, et pour votre engagement constant à améliorer l'état du monde.

Annexes : Mutations profondes

Avec la Quatrième Révolution Industrielle, la connectivité numérique induite par les nouveaux logiciels modifie fondamentalement la société. L'ampleur de l'impact est telle, le changement est si rapide, que sous nos yeux se produit une métamorphose qui ne ressemble en rien aux révolutions industrielles antérieures.

Le « Global Agenda Council on the Future of Software and Society » du World Economic Forum a réalisé une enquête auprès de 800 cadres et responsables d'entreprises. Il s'agissait de mesurer à quelle échéance la diffusion massive de ces technologies de rupture est prévue ; on cherchait également à mieux comprendre les implications de ces mutations

pour les individus, les organisations, les pouvoirs publics et la société.

Le rapport présentant les résultats de l'enquête, *Deep Shift: Technology Tipping Points and Social Impact*, a été publié en septembre 2015[76]. On trouvera ci-dessous une liste comprenant les 21 mutations technologiques identifiées dans le rapport, plus deux autres, avec les points de bascule correspondants et les dates prévisibles d'arrivée sur le marché.

Mutation 1 : Les technologies implantables

Le point de bascule : premier téléphone implantable commercialisé.

D'ici 2025 : 82 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Les gens sont toujours plus connectés à leurs appareils, et ces appareils sont de plus en plus connectés à leur corps. Non seulement portés, ils sont aussi implantés dans l'organisme, où ils remplissent diverses fonctions :

communications, géolocalisation, suivi du comportement et de la santé.

Les pacemakers et les implants cochléaires n'étaient que la première étape ; de nouveaux implants sont lancés en permanence. Ils deviendront capables d'évaluer les paramètres des maladies, permettront à chacun de prendre les mesures nécessaires, enverront les données aux centres de suivi, voire administreront automatiquement les médicaments.

Les tatouages intelligents et autres puces électroniques pourraient aider à identifier et localiser les personnes. Les appareils implantés permettront aussi sans doute de communiquer les pensées normalement exprimées par la parole *via* un smartphone « intégré » et, potentiellement, les pensées ou émotions non exprimées en lisant les ondes cérébrales ou d'autres signaux.

Impacts positifs

– Diminution des disparitions d'enfants.

– Meilleurs résultats sanitaires.

– Autonomie accrue.

– Meilleure prise de décision.

– Reconnaissance des images et accès aux données personnelles (réseau anonyme sur le modèle du site Yelp[77]).

Impacts négatifs

– Confidentialité/risque de surveillance.

– Baisse de la sécurité des données.

– Évasion et addiction.

– Distractions accrues (trouble du déficit de l'attention).

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Allongement de la durée de vie.

– Changement de nature des relations humaines.

– Modification des interactions et relations humaines.

– Identification en temps réel.

– Mutation culturelle (mémoire éternelle).

La mutation en marche

– Les tatouages numériques sont non seulement cools, mais peuvent aussi avoir d'autres fonctions : ouvrir une voiture, saisir des codes sur un téléphone ou suivre les processus de l'organisme.

Source : Medix, « Top 10 Implantable Wearables Soon To Be In Your Body », Wtvox.com, 27 octobre 2015.

– Selon un article de WT VOX : « La *smart dust* (poussière intelligente), composée d'une myriade d'ordinateurs équipés d'antennes et bien plus petits qu'un grain de sable, est capable de s'organiser à l'intérieur du corps pour créer des réseaux *ad hoc* et d'activer un ensemble de processus internes complexes. Imaginez-la attaquer une tumeur naissante, soulager une blessure, voire stocker des informations personnelles critiques, avec un chiffrement puissant, quasi impossible à déchiffrer. Grâce à la *smart dust*, les médecins pourront agir dans le corps sans l'ouvrir, et des informations chiffrées pourront être stockées en vous jusqu'au moment où vous les débloquerez à partir de votre nanoréseau personnel. »

Source : Medix, « Top 10 Implantable Wearables Soon To Be In Your Body », Wtvox.com, 27 octobre 2015.

– Une pilule intelligente, mise au point par Proteus Biomedical, Technology Pioneer du World Economic Forum, et Novartis, est munie d’un appareil électronique biodégradable qui transmet à votre téléphone des données sur l’interaction entre votre organisme et le médicament.

Source : Rick Mullin, « Odd Couplings », http://cen.acs.org, 13 février 2012.

Mutation 2 : Notre présence numérique

Le point de bascule : 80 % de personnes ont une identité numérique sur Internet.

D’ici 2025 : 84 % des personnes interrogées s’attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

L’identité numérique a évolué rapidement au cours des vingt dernières années. Il y a dix ans seulement, cela signifiait avoir un numéro de téléphone portable, une adresse e-mail et éventuellement un site Web personnel ou une page MySpace.

Aujourd'hui, notre présence numérique se manifeste par nos interactions numériques et laisse sa trace sur une multitude de plateformes et de médias en ligne. Beaucoup de personnes sont présentes sur plusieurs réseaux et possèdent par exemple une page Facebook, un compte Twitter, un profil LinkedIn, un blog Tumblr, un compte Instagram et souvent bien d'autres pages.

Dans notre monde de plus en plus connecté, la vie numérique d'une personne devient inextricablement liée à sa vie physique. À l'avenir, construire et gérer son identité numérique deviendra une pratique aussi courante que parler, agir ou suivre une certaine mode vestimentaire pour afficher sa personnalité. Dans ce monde connecté, à travers son identité numérique, on pourra rechercher et partager des informations, exprimer librement ses idées, trouver et être trouvé, créer et entretenir des liens pratiquement n'importe où dans le monde.

Impacts positifs

– Transparence accrue.

– Interconnexion accrue et plus rapide entre les individus et les groupes.

– Extension de la liberté d’expression.
– Diffusion/échange plus rapide de l’information.
– Utilisation plus efficace des services publics.

Impacts négatifs

– Confidentialité menacée/risque de surveillance.
– Vol d’identité plus fréquent.
– Harcèlement/chantage en ligne.
– Pseudo-consensus au sein des groupes d’intérêt et polarisation accrue.
– Propagation d’informations inexactes (nécessité d’une gestion de la réputation) ; fausses rumeurs[78].
– Manque de transparence quand les individus ne sont pas familiers avec les algorithmes de l’information (pour des nouvelles/informations).

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Empreintes numériques.

– Publicité mieux ciblée.

– Informations et nouvelles mieux ciblées.

– Profilage individuel.

– Identité permanente (aucun anonymat).

– Facilité pour lancer un mouvement social en ligne (groupes politiques, groupes de pression, de loisirs, groupements terroristes).

La mutation en marche

Si les trois réseaux sociaux les plus populaires étaient des pays, ils compteraient ensemble 1 milliard d'individus de plus que la Chine (figure I).

Figure I – Les utilisateurs actifs de réseaux sociaux comparés aux populations des plus grands pays du monde

Les 10 populations les plus importantes (en millions)

1		**Facebook**	**1,400**
2		Chine	1,360
3		Inde	1,240
4		**Twitter**	**646**
5		États-Unis	318
6		Indonésie	247
7		Brésil	202
8		Pakistan	186
9		Nigeria	173
10		**Instagram**	**152**

Source : « Social media and narcissism », *The McCrindle Blog*, www.mccrindle.com.au, 22 juin 2015.

Mutation 3 : La vision, nouvelle interface

Point de bascule : 10 % de lunettes de vue connectées à Internet.

D’ici 2025 : 86 % des personnes interrogées s’attendent à ce que basculement ait eu lieu.

Google Glass ne représente que l’une des modalités possibles par laquelle divers objets (lunettes, casques, écouteurs et autres outils de suivi du regard) peuvent devenir « intelligents », faisant de l’œil et de la vision le moyen d’accéder à Internet et aux objets connectés.

En faisant de la vision une voie d’accès directe aux applications Internet et aux données, les expériences d’un individu peuvent être stimulées, modifiées ou complètement enrichies pour lui permettre de s’immerger dans une réalité différente. En outre, avec l’émergence des technologies de suivi du regard, les appareils peuvent apporter des informations par une interface visuelle, et les yeux peuvent devenir une source d’interaction et de réaction à l’information.

Si la vision devient une interface directe et immédiate, capable de donner des instructions, de visualiser et d’interagir, toute une série d’activités (apprentissage, transports, instructions et commentaires pour la production de biens et services, loisirs ou aide aux handicapés) seront modifiées ; chacun pourra

ainsi s'impliquer plus pleinement dans le monde.

Impacts positifs

- Information immédiate à l'individu pour lui permettre de prendre des décisions rationnelles pour son travail ou ses activités personnelles et pour se déplacer.
- Amélioration de la capacité d'exécuter des tâches, de produire des biens et de fournir des services avec un guide visuel pour la production, les soins médicaux, la chirurgie et les prestations de service.
- Possibilité pour les handicapés de contrôler leurs interactions et leurs mouvements, de dialoguer avec le monde à travers la parole, un clavier ou des mouvements ainsi que par l'intermédiaire des expériences immersives.

Impacts négatifs

- Déconcentration, diversion de l'attention provoquant des accidents.
- Traumatismes dus à des expériences immersives négatives.

– Addiction et évasion accrues.

Impacts inconnus ou à double tranchant

- Création d'un nouveau segment dans l'industrie du divertissement.
- Augmentation de l'information immédiate.

La mutation en marche

On vend déjà des lunettes (fabriquées par Google ou d'autres marques) qui permettent :

- de manipuler librement un objet 3D, en le façonnant comme de l'argile ;
- de fournir toutes les informations détaillées dont on a besoin quand on voit quelque chose, avec un fonctionnement analogue à celui du cerveau ;
- d'indiquer en surimpression le menu du restaurant devant lequel vous passez ;
- de projeter une photo ou une vidéo sur une simple feuille de papier.

Source : Nels Dzyre, « 10 Forthcoming Augmented Reality & Smart Glasses You Can Buy », www.hongkiat.com.

Mutation 4 : Internet comme habit

Le point de bascule : 10 % de la population porte des vêtements connectés à Internet.

D'ici 2025 : 91 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

La technologie se personnalise de plus à plus. Au départ, les ordinateurs occupaient d'énormes pièces, puis ils étaient posés sur les bureaux, et ensuite sur les genoux des utilisateurs. La technologie est actuellement logée dans les téléphones mobiles, dans la poche des gens, mais bientôt elle sera directement intégrée à leurs vêtements et accessoires.

Lancée en 2015, l'Apple Watch est connectée à Internet et comporte plusieurs des fonctionnalités d'un smartphone. De plus en plus, les vêtements et autres équipements portés sur le corps seront munis de puces intégrées connectant à Internet l'objet et la personne qui le porte.

Impacts positifs

- Meilleur état de santé, d’où une longévité accrue.
- Plus grande autonomie.
- Autogestion de son état de santé.
- Meilleure prise de décision.
- Diminution des disparitions d’enfants.
- Vêtements personnalisés (couture, design).

Impacts négatifs

- Confidentialité menacée/risque de surveillance.
- Évasion et addiction.
- Sécurité des données.

Impacts inconnus ou à double tranchant

- Identification en temps réel.
- Modification des interactions et des rapports personnels.
- Reconnaissance des images et accès aux données personnelles (réseau anonyme sur le modèle de l’application mobile Yelp).

Le groupe Gartner, spécialisé en recherches et conseil, évalue à environ 514 millions le nombre de montres intelligentes et autres bracelets connectés qui seront vendus dans un délai de cinq ans.

Source : Steve Ranger, « Wearables, Internet of Things muscle in on smartphone spotlight at MWC », www.zdnet.com, 26 février 2015.

Mimo Baby a lancé un moniteur pour bébé, portable et à croissance rapide, qui communique à votre iPad ou votre smartphone les données sur la respiration, la position, le sommeil, etc. (Cela a fait naître une polémique au sujet de la limite à trouver entre apporter de l'aide, et créer une solution à un problème qui n'existe pas. Dans le cas présent, les partisans affirment que le moniteur aide le bébé à mieux dormir, alors que les détracteurs soulignent que des capteurs ne constituent pas un substitut parental.)

Sources : Mimobaby.com ; Parija Kavilanz, « "Connected" babies = more sleep for you », Money.cnn.com, 17 avril 2015.

Ralph Lauren a lancé une chemise de sport conçue pour fournir des données en temps réel sur une séance d'entraînement en mesurant la

production de sueur, le rythme cardiaque, l'intensité du souffle, etc.

Source : www.ralphlauren.com/product/index.jsp

Mutation 5 : L'informatique omniprésente

Le point de bascule : 90 % de la population a un accès régulier à Internet.

D'ici 2025 : 79 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

L'informatique devient plus accessible de jour en jour, et la puissance de calcul est désormais à la portée de tous, par l'intermédiaire d'un ordinateur avec une connexion Internet, un smartphone avec 3G/4G ou les services du *cloud*.

Aujourd'hui, 43 % de la population mondiale est connectée à Internet[79]. Durant la seule année 2014, 1,2 milliard de smartphones ont été vendus[80]. On estime qu'en 2015, les ventes de tablettes ont dépassé les ventes d'ordinateurs personnels, et que l'on a vendu six fois plus de téléphones portables (tous types confondus) que

d'ordinateurs[81]. Étant donné que la vitesse d'adoption d'Internet dépasse celle de tout autre canal de médias, on prévoit que, dans seulement quelques années, les trois quarts de la population du monde auront un accès régulier à Internet.

À l'avenir, l'accès régulier à Internet et à l'information ne sera plus considéré comme un privilège des économies développées, mais comme un droit fondamental, au même titre que l'eau potable. Comme les technologies sans fil nécessitent moins d'infrastructures que d'autres services publics (électricité, routes et eau), elles deviendront très probablement accessibles beaucoup plus rapidement. Par conséquent, n'importe qui, n'importe où dans le monde pourra se connecter et interagir avec l'information à l'autre bout de la planète. La création de contenus et leur diffusion deviendront plus faciles que par le passé.

Impacts positifs

– Participation accrue à la vie économique pour des populations défavorisées vivant dans des régions isolées ou sous-développées (« dernier kilomètre »).

– Accès à l’éducation, aux services de santé et aux services publics.

– Présence.

– Accès aux compétences, plus d’emplois, changement de nature des emplois.

– Augmentation de la taille des marchés/e-commerce.

– Plus d’informations.

– Participation citoyenne accrue.

– Démocratisation/changements politiques.

– « Dernier kilomètre »/pays isolés : transparence et participation accrues, mais aussi augmentation des manipulations et des rumeurs.

Impacts négatifs

– Manipulations et rumeurs accrues.

– Fragmentation politique.

– Chasses gardées (environnements clos, réservés aux utilisateurs authentifiés) empêchant l’accès total dans certains pays/régions.

La mutation en marche

Pour rendre Internet accessible à 4 milliards de futurs utilisateurs, deux conditions principales doivent être réunies : l'accès doit être disponible et il doit être abordable. La course pour fournir l'accès au Web au reste du monde a commencé. Déjà, plus de 85 % de la population mondiale vit à quelques kilomètres d'un relais de téléphone portable qui pourrait fournir le service d'Internet[82]. Les opérateurs mobiles partout au monde augmentent rapidement l'accès à Internet. Le projet de Facebook, Internet.org, conçu avec les opérateurs de réseaux mobiles, a permis à plus de 1 milliard de personnes dans 17 pays de bénéficier gratuitement d'un accès de base à Internet en 2014[83]. De nombreuses initiatives sont en cours pour connecter à un prix raisonnable même les régions les plus isolées : Internet.org développe des drones ; le projet Loon de Google utilise des ballons et SpaceX investit dans de nouveaux réseaux satellitaires low cost.

Mutation 6 : Un superordinateur dans votre poche

Le point de bascule : 90 % de la population utilise un smartphone.

D'ici 2025 : 81 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

En 2012, l'équipe Inside Search de Google écrivait : « il faut autant de puissance de calcul pour traiter une requête sur Google que celle utilisée à l'époque pour l'ensemble du programme Apollo[84] ». Qui plus est, les smartphones et les tablettes modernes contiennent plus de puissance de calcul que la plupart des superordinateurs d'autrefois, qui occupaient une pièce entière.

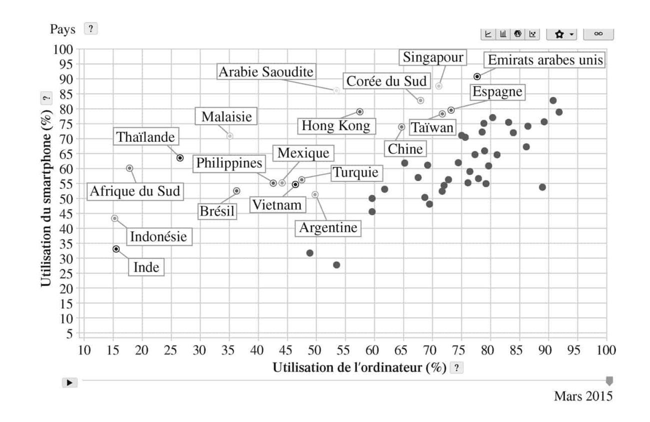
On prévoit un total de 3,5 milliards d'utilisateurs de smartphones dans le monde d'ici 2019, soit un taux de pénétration de 59 % de la population, contre 50 % en 2017, c'est-à-dire une augmentation significative par rapport au taux de 28 % en 2013[85]. Au Kenya, Safaricom, le principal opérateur de téléphonie mobile, annonce que 67 % des ventes d'appareil en 2014 étaient des smartphones, et la GSMA prévoit que, d'ici 2020, le continent africain comptera plus de 0,5 milliard d'utilisateurs de smartphones[86].

Ce changement dans le choix des appareils s’est déjà produit dans plusieurs pays sur différents continents (l’Asie est actuellement en tête) : de plus en plus, les utilisateurs préfèrent leur smartphone à l’ordinateur personnel traditionnel. Comme la technologie va dans le sens d’une miniaturisation des appareils, couplée à une augmentation de la puissance de calcul et à une baisse des prix de l’électronique, la diffusion des smartphones ira en s’accélérant.

Selon Google, les pays listés dans la figure II ont un taux d’utilisation des smartphones supérieur à celui des PC.

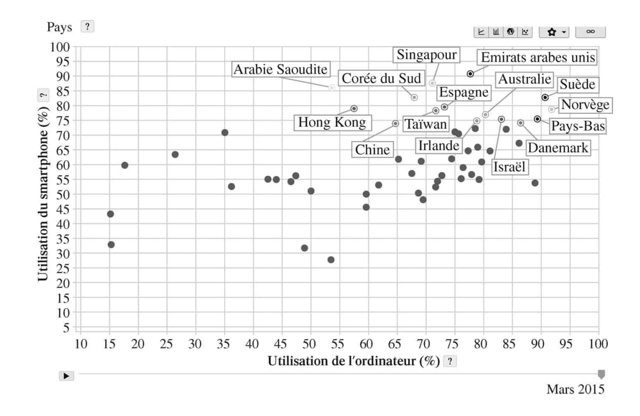
Source : www.google.com.sg/publicdata/explore

Figure II – Les pays dans lesquels l’utilisation du smartphone dépasse l’utilisation de l’ordinateur (mars 2015)



Source : www.google.com.sg/publicdata/explore

Figure III – Les pays avec près de 90 % d'utilisation du smartphone chez les adultes (mars 2015)



Source :
www.google.com.sg/publicdata/explore

Les pays tels que Singapour, la Corée du Sud et les Émirats arabes unis atteignent presque le point de bascule, avec 90 % d'utilisateurs de smartphones dans la population adulte (figure III).

La société se dirige vers l'adoption d'appareils encore plus rapides qui permettront aux utilisateurs d'effectuer à tout moment des tâches complexes. Il est hautement probable que le nombre d'appareils par personne sera en forte augmentation, non seulement en raison des

nouvelles fonctionnalités, mais aussi de la spécialisation des tâches.

Impacts positifs

- Participation accrue à la vie économique des populations défavorisées vivant dans des régions isolées ou sous-développées (« dernier kilomètre »).
- Accès à l'éducation, aux services de santé et aux services administratifs.
- Présence.
- Accès aux compétences, effet positif sur l'emploi, changement de types d'emploi.
- Augmentation de la taille des marchés/e-commerce.
- Plus d'informations.
- Plus de participation citoyenne.
- Démocratisation/changements politiques.
- « Dernier kilomètre »/pays isolés : transparence et participation accrues, mais aussi augmentation des manipulations et des rumeurs.

Impacts négatifs

– Manipulations et rumeurs accrues.
– Fragmentation politique.
– Chasses gardées (environnements clos, réservés aux utilisateurs authentifiés) empêchant le plein accès dans certains pays/régions.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Disponible 24 heures sur 24, 7 jours sur 7.
– Absence de séparation entre les sphères privée et professionnelle.
– Permet de se déplacer n'importe où.
– Impact des industries manufacturières sur l'environnement.

La mutation en marche

En 1985, le Cray-2 était l'ordinateur le plus rapide au monde. L'iPhone 4, lancé en juin 2010, a une puissance égale à celle du Cray-2 ; cinq ans après, l'Apple Watch a une vitesse équivalente à celle de deux iPhone 4s[87]. Avec la baisse du prix unitaire du smartphone sous les 50 dollars, la puissance de

calcul qui augmente de façon vertigineuse et la diffusion accélérée sur les marchés émergents, on peut prévoir que, d'ici peu, pratiquement chacun de nous aura un superordinateur dans sa poche.

Source : http://pages.experts-exchange.com/processing-power-compared

Mutation 7 : Le stockage pour tous

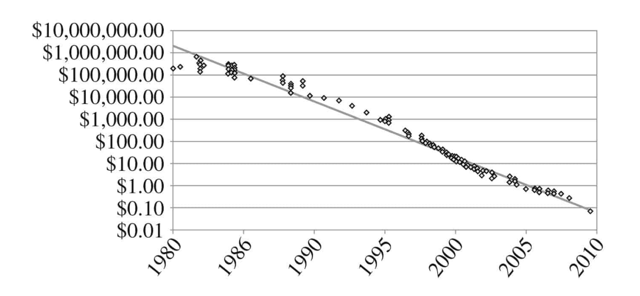
Le point de bascule : 90 % des individus ont accès à un stockage gratuit (financé par la publicité) et illimité.

D'ici 2025 : 91 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Les capacités de stockage ont énormément évolué ces dernières années ; de plus en plus d'entreprises offrent gratuitement du stockage à leurs usagers. Les utilisateurs produisent des quantités croissantes de contenu, sans jamais devoir se soucier de détruire des fichiers pour libérer de la place. On observe une tendance très nette à la marchandisation des capacités de stockage. L'une des explications est la chute

vertigineuse du coût du stockage (divisé environ par 10 tous les cinq ans – figure IV).

Figure IV – Coût du stockage sur disque dur par gigaoctet (1980-2009)



Source : « A history of storage costs », mkomo.com, 8 septembre 2009[88].

On estime qu'environ 90 % de l'ensemble des données mondiales ont été créés au cours des deux dernières années ; la quantité d'information créée par les entreprises double tous les 14 mois[89]. Le stockage est déjà devenu une source de profit, avec en tête des entreprises comme Amazon Web Services et Dropbox.

On se dirige vers une marchandisation totale du stockage, avec accès gratuit et illimité pour les utilisateurs. La source principale de revenus

pour les entreprises pourrait être la publicité ou la télémétrie.

Impacts positifs

– Bases de données juridiques.
– Recherche et érudition historique.
– Efficacité des opérations commerciales.
– Extension des limites des mémoires personnelles.

Impact négatif

– Confidentialité menacée.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Mémoire éternelle (aucun fichier détruit).
– Création, partage et consommation de contenus accrus.

La mutation en marche

De nombreuses entreprises offrent déjà un stockage gratuit sur le *cloud* allant de 2 Go à 50 Go.

Mutation 8 : L'Internet des objets

Le point de bascule : 1 000 milliards de capteurs connectés à Internet.

D'ici 2025 : 89 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Avec l'augmentation croissante de la puissance de calcul et la chute des prix du matériel (comme le prédit la loi de Moore[90]), il devient économiquement possible de connecter absolument tout à Internet. Les capteurs intelligents sont déjà accessibles à des prix très abordables. Tous les objets seront intelligents et connectés à Internet, permettant des communications plus nombreuses et de nouveaux services axés sur les données et basés sur des capacités d'analyse amplifiées.

Une étude récente explore comment les capteurs peuvent servir à surveiller la santé et le comportement d'un animal[91]. Elle montre comment, en équipant le bétail avec des capteurs, on obtient des données en temps réel sur sa santé où qu'il se trouve, données

transmises par l'intermédiaire d'un réseau de téléphonie mobile.

Les experts suggèrent qu'à l'avenir, tout objet pourrait être connecté à des infrastructures de communications omniprésentes ; des capteurs placés partout aideraient chacun à percevoir son environnement.

Impacts positifs

– Plus grande efficacité dans l'utilisation des ressources.
– Gain de productivité.
– Meilleure qualité de vie.
– Effets sur l'environnement.
– Prestations de services moins coûteuses.
– Transparence accrue autour de l'utilisation et de l'état des ressources.
– Sécurité (par exemple avions, alimentation).
– Efficacité (logistique).
– Demande accrue de stockage et de bande passante.
– Changements du marché du travail et des compétences.

– Création de nouvelles entreprises.

– Même des applications en temps réel seront compatibles avec les réseaux de communication standard.

– Les produits devront être « numériquement connectables » dès la conception.

– Produits accompagnés de services numériques.

– Le jumeau numérique fournit des données précises pour orienter, contrôler et prédire.

– Le jumeau numérique devient un participant actif dans la vie professionnelle, l'information et les processus sociaux.

– Les objets seront capables de percevoir leur environnement dans son ensemble, de réagir et d'agir de façon autonome.

– Production de savoir et de valeur additionnels grâce à des objets « intelligents » connectés.

Impacts négatifs

– Confidentialité.

– Suppression d'emplois faiblement qualifiés.

– Hacking, cybercriminalité (par exemple réseau de service public).
– Complexité accrue et risque de perte de contrôle.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Changement de business model : location/utilisation et non-possession des biens (l'équipement matériel devient un service).
– Business model affecté par la valeur des données.
– Chaque entreprise devient virtuellement un développeur de logiciels.
– Nouvelle activité économique : vente des données.
– Changement de perspective pour les questions de confidentialité.
– Omniprésence des infrastructures concernant les technologies de l'information.
– Automatisation de certaines tâches intellectuelles (par exemple analyses, évaluations, diagnostics).

– Conséquences d'un possible « Pearl Harbor numérique » (hackers ou terroristes numériques paralysant les infrastructures, entraînant des pénuries de nourriture, de carburant et d'électricité pendant des semaines).
– Augmentation du taux d'utilisation (par exemple voitures, machines, outils, équipements, infrastructures).

La mutation en marche

L'informatique embarquée de la Ford GT compte 10 millions de lignes de programme.

Source : Jason Meserve, « IoT is Bringing Lots of Code to Your Car – Hackers Too », www.ca.com, 11 septembre 2015.

Le nouveau modèle de la Golf VW comporte 54 unités de traitement (*computer processing units*, CPU) ; sur le véhicule, 700 points sont contrôlés par informatique, générant 6 Go de données par véhicule.

Source : « IT-Enabled Products and Services and IoT », Roundtable on Digital Strategies Overview, Center for Digital Strategies at the Tuck School of Business at Dartmouth, 2014.

On prévoit que d'ici 2020, plus de 50 milliards d'appareils seront connectés à

Internet. Même la voie lactée, la galaxie où se trouve notre système solaire, ne contient que 200 milliards d'étoiles.

Eaton Corporation installe des capteurs dans certains tuyaux à haute pression qui repèrent le moment où le tuyau va céder, évitant ainsi les risques d'accident et économisant le coût des pannes sur les machines dans lesquelles les tuyaux sont un élément clé.

Source : « The Internet of Things: The Opportunities and Challenges of Interconnectedness », Roundtable on Digital Strategies Overview, Center for Digital Strategies at the Tuck School of Business at Dartmouth, 2014.

Selon BMW, en 2015, 8 % de la totalité des voitures sur toute la planète, soit 84 millions, étaient connectées à Internet d'une façon ou d'une autre. D'ici à 2020, ce chiffre atteindra 22 %, soit 290 millions de véhicules.

Source : Janosh Delcker, « Google vs. the German car engrener », www.politico.eu, 28 octobre 2015.

Certaines compagnies d'assurances comme Aetna cherchent à implanter des capteurs dans les moquettes pour signaler les personnes victimes d'un AVC : les capteurs détecteraient tout changement de démarche et appelleraient un médecin.

Source : « The Internet of Things: The Opportunities and Challenges of Interconnectedness », Roundtable on Digital Strategies Overview, Center for Digital Strategies at the Tuck School of Business at Dartmouth, 2014.

Mutation 9 : La maison connectée

Le point de bascule : plus de 50 % du trafic Internet des particuliers destiné aux appareils et à l'électroménager (et non aux loisirs ou aux communications).

D'ici 2025 : 70 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Au XXe siècle, la majeure partie de l'énergie domestique était destinée à la consommation individuelle (éclairage). Par la suite, une part croissante de l'énergie est dédiée à des appareils plus complexes, du grille-pain au lave-vaisselle en passant par la télévision et le climatiseur.

Il en va de même pour Internet : la majeure partie de la bande passante est occupée par la consommation personnelle, communication ou loisirs. Les progrès de la domotique permettent aujourd'hui de contrôler l'éclairage, les volets,

la ventilation, la climatisation, les systèmes audio, vidéo et de sécurité, les appareils ménagers. Les robots viennent aussi apporter leur aide, par exemple pour passer l’aspirateur.

Impacts positifs

– Efficacité dans l’utilisation des ressources (réduction de la consommation énergétique et du coût).

– Confort.

– Sécurité et contrôle des intrusions.

– Contrôle des accès.

– Colocation.

– Meilleure autonomie à domicile (jeunes, personnes âgées, handicapées).

– Meilleur ciblage de la publicité et impact global sur l’activité.

– Réduction des coûts de santé (réduction des durées d’hospitalisation et du nombre de visites de médecins, contrôle de la prise de médicaments).

– Contrôle (en temps réel) et enregistrement par caméra de surveillance.

– Systèmes d’alarme et appels au secours.

– Contrôle de la maison à distance (par exemple vérifier que le gaz est fermé).

Impacts négatifs

– Confidentialité.

– Surveillance.

– Cybercriminalité, vulnérabilité.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Impact sur la main-d'œuvre.

– Changements concernant le lieu de travail (davantage de télétravail).

– Confidentialité, propriété des données.

La mutation en marche

Un exemple d'utilisation de ce type de développement pour la maison est cité par le site Cnet.com :

« Nest, l'entreprise qui a développé le thermostat et le détecteur de fumée connectés à Internet […] a annoncé [en 2014] le programme "Works with Nest" destiné aux développeurs,

avec comme but de rendre les produits d'autres fabricants compatibles avec ses logiciels. Par exemple, grâce à un partenariat avec Mercedes-Benz, votre voiture peut prévenir Nest de monter le chauffage de la maison quand vous arrivez chez vous. […] À long terme […] des plateformes comme celle de Nest permettront à votre domicile de connaître vos besoins, et de tout régler automatiquement. Les appareils eux-mêmes finiront peut-être par se fondre dans la maison, ne jouant plus que le rôle de capteurs et d'outils commandés à partir d'une plateforme unique. »

Source : Richard Nieva, « Rosie or Jarvis: The future of the smart home is still in the air », www.cnet.com, 14 janvier 2015.

Mutation 10 : Des villes intelligentes

Le point de bascule : première ville de plus de 50 000 habitants sans feux tricolores.

D'ici 2025 : 64 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Dans de nombreuses villes, les réseaux, services et routes seront connectés à Internet. Ces villes « intelligentes » géreront ainsi leurs flux énergétiques et matériels, leur logistique et leur trafic routier. Des villes à la pointe, comme Singapour et Barcelone, ont déjà commencé à mettre en œuvre de nombreux services utilisant les données, notamment des solutions intelligentes pour le parking, la collecte des ordures et l'éclairage public. Les villes intelligentes étendent en permanence leur réseau de capteurs et élaborent des plateformes de données qui serviront à connecter les différents projets et à ajouter d'autres services fondés sur l'analyse des données et les modèles de prévision.

Impacts positifs

– Utilisation plus efficace des ressources.

– Gain de productivité.

– Densité accrue.

– Meilleure qualité de vie.

– Effets sur l'environnement.

– Meilleur accès aux ressources pour l'ensemble de la population.

– Diminution des coûts des services.
– Plus grande transparence dans l'utilisation et l'état des ressources.
– Diminution de la criminalité.
– Mobilité accrue.
– Production et consommation décentralisées d'énergie verte.
– Décentralisation de la production des biens.
– Meilleure résilience (aux impacts du changement climatique).
– Réduction de la pollution (air, bruit).
– Meilleur accès à l'éducation.
– Accès aux marchés plus rapide.
– Plus d'emplois.
– Bureaucratie informatisée plus « intelligente ».

Impacts négatifs

– Surveillance, confidentialité.
– Risque de panne générale si le système énergétique fait défaut.
– Vulnérabilité accrue aux cyberattaques.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Impact sur la culture locale de la ville.

– Changement de l'identité propre à la ville.

La mutation en marche

Selon un article publié dans *The Future Internet :*

« La ville de Santander, dans le nord de l'Espagne, compte 20 000 capteurs qui relient les immeubles, les infrastructures, les transports, les réseaux et les services. La cité offre un espace d'expérimentation et de validation de fonctionnalités telles que les protocoles d'interaction et de gestion, les technologies de gestion des appareils, ainsi que des services généraux comme la découverte, la gestion des identités et la sécurité. »

Source : H. Schaffers, N. Komninos, M. Pallot, B. Trousse, M. Nilsson et A. Oliveira, « Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation », *in* J. Domingue *et al.* (eds), *The Future Internet*, LNCS 6656, 2011, p. 431-446.

Mutation 11 : Le big data pour l'aide à la prise de décision

Le point de bascule : le premier gouvernement à remplacer le recensement de la population par des sources de big data.

D'ici 2025 : 83 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Les données sur les collectivités locales n'ont jamais été aussi abondantes. La capacité de comprendre et de gérer ces données s'améliore sans cesse. Il est possible que les pouvoirs publics commencent à revoir leur mode de collecte des données et se tournent vers les technologies du big data pour automatiser leurs programmes actuels et proposer des moyens innovants de servir les citoyens et les consommateurs.

L'utilisation du big data rendra le système de prise de décision plus performant et plus rapide dans toutes sortes de secteurs et d'applications. L'automatisation de l'aide à la décision peut réduire la complexité pour les citoyens et permettre aux entreprises et au secteur public de fournir des services en temps réel et de l'aide pour une série d'activités allant des interactions avec les consommateurs aux systèmes automatisés de déclaration et de paiement de l'impôt.

L'utilisation du big data au service des systèmes d'aide à la décision soulève autant de risques qu'elle crée d'opportunités. Il sera essentiel de réussir à instaurer la confiance dans les données et les algorithmes utilisés. Les préoccupations des citoyens concernant la confidentialité, leur désir de mettre les entreprises et les structures juridiques en position de justifier leurs actions, tout cela doit être repensé et des directives claires doivent être énoncées afin d'éviter le profilage et les effets pervers. En remplaçant par le big data certaines opérations aujourd'hui effectuées manuellement, on risque de supprimer certains emplois devenus obsolètes, mais aussi d'en créer de nouveaux ainsi que des opportunités qui n'existent pas actuellement sur le marché.

Impacts positifs

– Meilleures décisions, plus rapides.

– Plus de décisions prises en temps réel.

– Open data (données ouvertement accessibles) en faveur de l'innovation.

– Création d'emplois dans les professions juridiques.

– Complexité réduite et efficacité accrue pour les citoyens.
– Réduction des coûts.
– Nouvelles catégories d'emplois.

Impacts négatifs

– Suppressions d'emplois.
– Problèmes de confidentialité.
– Responsabilité, justification (qui détient l'algorithme ?).
– Confiance (comment faire confiance aux données ?)
– Luttes pour les algorithmes

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Profilage.
– Changements des structures réglementaires, commerciales et juridiques.

La mutation en marche

Le volume mondial des données d'entreprises double tous les 14 mois.

Source : Vincent Granville, « A Comprehensive List of Big Data Statistics », www.bigdatanews.com, 21 octobre 2014.

« De l'Iowa à l'Inde, les agriculteurs utilisent des données fournies par les semences, des satellites, des capteurs, et des tracteurs pour prendre de meilleures décisions concernant les plantes à cultiver, la manière d'assurer une traçabilité garantissant la fraîcheur des produits du champ à l'assiette, et la manière de s'adapter au changement climatique. »

Source : « What's the Big Deal with Data », BSA | Software Alliance, http://data.bsa.org

« Pour mieux informer les clients des restaurants sur l'hygiène des établissements, la ville de San Francisco a piloté avec succès, en collaboration avec Yelp, une opération qui vise à publier les données d'inspection sanitaire des restaurants sur la page Yelp qui leur est consacrée. Ainsi, sur la page du restaurant Tacos El Primo, on peut lire que la note d'hygiène est de 98 sur 100. Les évaluations de Yelp ont un certain poids. Ce dispositif de collaboration sert de porte-parole à la ville pour sensibiliser ses habitants aux risques alimentaires, mais il peut également permettre de dénoncer les restaurants indélicats pour les inciter à mieux se conformer aux règles d'hygiène. »

Source : Tanvi Misra, « 3 Cities Using Open Data in Creative Ways to Solve Problems », www.citylab.com, 22 avril 2015.

Mutation 12 : Les voitures autonomes

Le point de bascule : le nombre de voitures sans conducteurs atteint 10 % du total des voitures en circulation aux États-Unis.

D'ici 2025 : 79 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Des voitures autonomes sont actuellement à l'essai chez Audi, chez Google, et dans plusieurs autres entreprises qui redoublent d'efforts pour mettre au point de nouvelles solutions. En principe, ces véhicules pourraient être plus efficaces et plus sûrs que des voitures conduites par un humain. En outre, ils pourraient réduire les embouteillages, la pollution et bouleverser les modèles de transport et de logistique existants.

Impacts positifs

– Amélioration de la sécurité.
– Libère du temps pour se consacrer au travail ou à la consommation de contenus audiovisuels.
– Effets sur l’environnement.
– Réduction du stress et de l’agressivité au volant.
– Amélioration de la mobilité, entre autres pour les personnes âgées et les handicapés.
– Adoption des véhicules électriques.

Impacts négatifs

– Suppression d’emplois (chauffeurs de taxis et de camions, industrie automobile).
– Bouleversement des systèmes d’assurances et d’assistance automobiles (payer plus pour conduire soi-même).
– Diminution des revenus provenant des amendes.
– Diminution du nombre de propriétaires de voitures.
– Structures juridiques de la circulation routière.

– Lobbying contre l'automatisation (conducteurs interdits sur les autoroutes).
– Hacking/cyber-attaques.

La mutation en marche

En octobre 2015, Tesla, grâce à une mise à jour de logiciel, a rendu semi-autonomes les voitures vendues aux États-Unis par la compagnie au cours de l'année précédente.

Source : Molly McHugh, « Tesla's Cars Now Drive Themselves, Kinda », www.wired.com, 14 octobre 2015.

Google prévoit de lancer des voitures autonomes sur le marché en 2020.

Source : Thomas Halleck, « Google Inc. Says Self-Driving Car Will Be Ready By 2020 », *International Business Times*, www.ibtimes.com, 14 janvier 2015.

Durant l'été 2015, deux hackers ont montré qu'ils pouvaient pirater une voiture autonome, contrôler les fonctionnalités du tableau de bord, direction, freinage, etc. à partir du système de divertissement du véhicule.

Source : Andy Greenberg, « Hackers Remotely Kill a Jeep on the Highway – With Me in It », www.wired.com, 21 juillet 2015.

Aux États-Unis, le Nevada est le premier État à autoriser la voiture autonome en 2012.

Source : Alex Knapp, « Nevada Passes Law Authorizing Driverless Cars », *Forbes*, www.forbes.com, 22 juin 2011.

Mutation 13 : L’intelligence artificielle et la prise de décision

Point de bascule : première intelligence artificielle (IA) au conseil d’administration d’une entreprise.

D’ici 2025 : 45 % des personnes interrogées s’attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

L’IA ne sert pas seulement à conduire des voitures, elle permettra aussi à l’avenir d’automatiser les processus complexes de décisions, de tirer un enseignement des situations précédentes, afin de faciliter et d’accélérer la prise de décision pour parvenir plus rapidement à des conclusions concrètes basées sur des données et sur les expériences antérieures.

Impacts positifs

– Décisions rationnelles, fondées sur des données ; plus impartial.
– Suppression de l'« exubérance irrationnelle ».
– Réorganisation des bureaucraties périmées.
– Économie d'emplois et innovation.
– Indépendance énergétique.
– Avancées dans le domaine médical, éradication des maladies.

Impacts négatifs

– Responsabilité (droits légaux et fiduciaires).
– Suppression d'emplois.
– Hacking/cybercriminalité.
– Responsabilité et imputabilité, gouvernance.
– Tendance à devenir incompréhensible.
– Inégalité accrue.
– « Être piégé par l'algorithme ».
– Menace existentielle pour l'humanité.

La mutation en marche

Un réseau sémantique, ConceptNet 4, a récemment mieux réussi un test de QI que la plupart des enfants de 4 ans. Il y a trois ans, il pouvait à peine rivaliser avec un enfant de 1 an. La version suivante, qui vient juste d'être terminée, est censée rivaliser avec un enfant de 5 à 6 ans.

Source : « Verbal IQ of a Four-Year Old Achieved by an AI System », http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.386.6705&rep=rep1&type=pdf

Si la loi de Moore se poursuit au même rythme que durant les 30 dernières années, les processeurs atteindront le même niveau de puissance de traitement que le cerveau humain en 2025. Deep Knowledge Ventures, un fonds de capital-risque basé à Hong Kong qui investit dans les sciences de la vie, la recherche sur le cancer, les maladies liées à l'âge et la médecine dégénérative, a désigné comme membre de son conseil d'administration un algorithme d'intelligence artificielle appelé VITAL (*Validating Investment Tool for Advancing Life Sciences,* instrument de validation pour l'avancement des sciences de la vie).

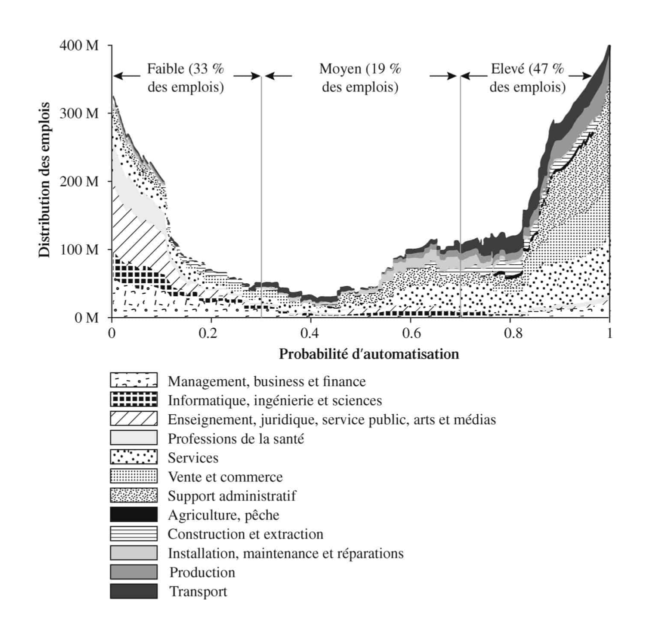
Source : « Algorithm appointed board director », BBC, www.bbc.com, 16 mai 2014.

Mutation 14 : L’intelligence artificielle et le travail administratif

Le point de bascule : 30 % des audits d’entreprise réalisés avec un système d’IA.

D’ici 2025 : 75 % des personnes interrogées s’attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Figure V – Distribution des emplois* aux États-Unis en fonction de la probabilité d'automatisation



Source : C.B. Frey et M.A. Osborne, « The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? », septembre 2013.

** Sur la base de la distribution des emplois en 2010.*

L'IA est capable d'associer les motifs correspondants et d'automatiser les processus, ce qui convient à de nombreuses fonctions dans

les grandes organisations. On peut envisager à l'avenir un environnement dans lequel beaucoup de tâches exécutées aujourd'hui par des employés seront effectuées par l'IA.

Une étude de l'Oxford Martin School[92] a étudié quels emplois étaient les plus susceptibles d'être remplacés par l'IA et la robotisation ; ces résultats donnent à réfléchir. Le modèle prédit qu'il est très probable que 47 % des emplois des États-Unis en 2010 seront automatisés d'ici dix à vingt ans (figure V).

Impacts positifs

– Réductions des coûts.

– Gains d'efficacité.

– Libération de l'innovation, opportunités pour les petites entreprises, les start-up (abaissement des barrières à l'entrée, « logiciel en tant que service [SaaS] » dans tous les domaines).

Impacts négatifs

– Suppression d'emplois.

– Justification et responsabilité.

– Changement des risques liés au cadre juridique et aux obligations de divulgation financière.
– Automatisation des emplois (voir l'étude Oxford Martin).

La mutation en marche

Les progrès de l'automatisation sont ainsi décrits dans *Fortune* :

« Le logiciel Watson d'IBM, célèbre pour ses prouesses dans le jeu télévisé Jeopardy!, a montré qu'il était capable d'établir un diagnostic beaucoup plus précis pour le cancer du poumon que les humains, 90 % contre 50 % pour certains tests. Pour quelle raison ? Les données. Se tenir au courant des plus récentes informations médicales pourrait prendre aux médecins 160 heures par semaine. Les docteurs ne peuvent évidemment pas absorber la totalité des idées nouvelles ou des résultats cliniques qui leur permettraient d'établir un diagnostic à la pointe de la connaissance. Les chirurgiens s'appuient déjà sur des systèmes automatisés pour les procédures faiblement invasives. »

Source : Erik Sherman, « 5 white-collar jobs robots already have taken » *Fortune.com*, 25 février 2015.

Mutation 15 : La robotique et les services

Le point de bascule : le premier pharmacien robotisé aux États-Unis.

D'ici 2025 : 86 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

La robotique commence à pénétrer de nombreux emplois, des industries manufacturières à l'agriculture et du commerce de détail aux services. Selon la Fédération Internationale de Robotique, il existe maintenant 1,1 million de robots au travail, et les machines accomplissent 80 % du travail de fabrication d'une voiture[93]. Les robots rationalisent les chaînes logistiques pour une production plus efficace et plus prévisible.

Impacts positifs

- Chaîne d'approvisionnement et logistique, éliminations.
- Plus de temps de loisirs.

– Meilleurs résultats des traitements (le big data sert à la recherche-développement dans l'industrie pharmaceutique).

– Application précoce aux distributeurs automatiques de billets (banque).

– Meilleur accès aux matériaux.

– Relocalisation de la production (les ouvriers des pays étrangers sont remplacés dans le pays d'origine par des robots).

Impacts négatifs

– Suppression d'emplois.

– Imputabilité et responsabilité.

– Évolution des normes sociales quotidiennes, fin de la distinction entre services de 9 heures à 17 heures et services 24 heures sur 24.

– Hacking et cyber-risque.

La mutation en marche

Un article du *Fiscal Times* consultable sur CNBC.com affirme :

« Rethink Robotics a lancé Baxter [à l'automne 2012] et a reçu un accueil extrêmement positif de la part de l'industrie manufacturière : son carnet de commande est plein jusqu'en avril […]

[En avril] Rethink lance une plateforme logicielle qui permet à Baxter d'accomplir une série de tâches plus complexes – par exemple, soulever une pièce, la placer en face d'un poste de contrôle et recevoir un signal pour la placer sur la pile des « bonnes » ou des « mauvaises » pièces. L'entreprise a également lancé un kit de développement logiciel qui permettra à un tiers, par exemple un chercheur en robotique, de créer des applications pour Baxter. »

Source : Blaire Briody, « The Robot Reality: Service Jobs Are Next to Go », *The Fiscal Times*, www.cnbc.com, 26 mars 2013.

Mutation 16 : Le bitcoin et la blockchain

Le point de bascule : 10 % du PIB mondial stocké sur une technologie de blockchain.

D'ici 2025 : 58 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Le bitcoin et les monnaies numériques reposent sur l'idée d'un mécanisme de confiance nommé la « blockchain », une façon de garder une trace des transactions fiables. Actuellement, la valeur totale des bitcoins dans la blockchain approche les 20 milliards de dollars, soit approximativement 0,025 % du PIB mondial d'environ 80 000 milliards de dollars.

Impacts positifs

– Meilleure intégration financière sur les marchés émergents quand les services financiers de la blockchain atteignent une masse critique.

– Désintermédiation des institutions financières, de nouveaux services et des échanges de valeur se créant directement sur la blockchain.

– Explosion des actifs négociables, toutes sortes d'échanges de valeurs pouvant être hébergés sur la blockchain.

– Amélioration des registres de propriété dans les marchés émergents, capacité de tout transformer en un actif négociable.
– Contrats et services juridiques de plus en plus codés et associés à la blockchain, pouvant être utilisés comme séquestres sécurisés, ou programmés pour être des « contrats intelligents ».
– Amélioration de la transparence, la blockchain étant essentiellement un registre global enregistrant toutes les transactions.

La mutation en marche

Smartcontract.com propose des contrats programmables qui effectuent les paiements entre deux parties après vérification de certains critères, sans qu'aucun intermédiaire n'intervienne. Ces contrats sont sécurisés par la blockchain, dotés du « statut d'auto-exécution », ce qui élimine le risque d'avoir recours à un tiers pour les faire exécuter.

Mutation 17 : L'économie de partage

Le point de bascule : au niveau mondial, une majorité de trajets/voyages en covoiturage plutôt qu'en voitures privées.

D'ici 2025 : 67 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Ce phénomène est généralement défini comme la capacité d'une entité (individu ou organisation), due largement aux progrès technologiques, d'utiliser en commun un bien ou un actif matériel ou de fournir/partager un service avec une efficacité inimaginable précédemment. Ce partage des biens et des services est rendu possible grâce à l'existence de marchés numériques, d'applications mobiles, de services de géolocalisation et de plateformes numériques. Tous ces éléments ont rendu possible une baisse des coûts de transaction et de friction telle qu'elle constitue un gain pour tous les acteurs, fragmenté en une multitude de petits éléments incrémentaux.

Le secteur des transports offre plusieurs exemples connus d'économie de partage. Zipcar offre un moyen de partager un véhicule pour une courte période et à un prix plus avantageux que les loueurs de voitures traditionnels. RelayRides offre une plateforme qui permet de localiser et

d’emprunter le véhicule personnel de quelqu’un pour une durée limitée. Uber et Lyft proposent des services individuels semblables à ceux d’un taxi, mais avec une plus grande efficacité, rassemblés en un seul service, avec des applications de géolocalisation et accessibles sur smartphones. En plus, ils sont disponibles de façon quasi instantanée.

Les caractéristiques de l’économie de partage sont multiples : support technologique, préférence donnée à l’usage et non à la propriété des objets, pair à pair, partage des biens personnels (et non professionnels), facilité d’accès, interaction sociale accrue, consommation collective et retour sur information partagé (d’où une confiance accrue). Tous ces éléments ne sont pas présents simultanément dans chaque transaction de l’« économie de partage ».

Impacts positifs

– Facilitation d’accès aux outils et autres ressources matérielles utiles.
– Protection de l’environnement (moins d’objets à produire et moindre quantité de biens nécessaires).

– Augmentation des services à la personne.
– Plus grande capacité à vivre sur sa trésorerie (moins besoin d'épargner pour acheter des biens de consommation).
– Meilleure utilisation des biens.
– Les abus de confiance à long terme sont rendus plus difficiles du fait du retour sur information, public et direct.
– Création de circuits économiques secondaires (chauffeurs Uber livrant des marchandises ou de la nourriture).

Impacts négatifs

– Moins de résilience après une perte d'emploi (du fait d'une plus petite épargne).
– Le travail sera plus organisé sur une base contractuelle ou à la pièce (à l'inverse des contrats de longue durée, plus stables).
– Capacité réduite pour mesurer l'économie « grise », plus ou moins informelle.
– Plus d'occasions pour des abus de confiance de courte durée.

– Moins de capital disponible pour l’investissement.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Changement de propriété des biens immobiliers et mobiliers.

– Plus de modèles d’abonnement.

– Moins d’épargne.

– Le sens de ce qu’est la richesse ou « être aisé » est moins clair.

– Ce qu’est un « emploi » n’est pas clair.

– Difficulté pour mesurer cette économie « grise ».

– Nécessité d’adapter un système fiscal et réglementaire fondé sur la propriété et les ventes à un modèle qui repose sur l’utilisation de biens et services.

La mutation en marche

Dans ce contexte, la notion de propriété prend un sens particulier, comme on peut le voir dans les questions suivantes :

– Le plus grand commerce de détail qui ne possède aucun magasin ? (Amazon)
– Le principal fournisseur de chambres à coucher qui ne possède aucun hôtel ? (Airbnb)
– La plus grande entreprise de transport qui ne possède aucune voiture ? (Uber)

Mutation 18 : Les gouvernements et la blockchain

Le point de bascule : premier gouvernement à collecter les impôts *via* une blockchain.

D'ici 2025 : 73 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

La blockchain est source d'opportunités et de défis pour les États. D'un côté, elle n'est ni régulée ni supervisée par une banque centrale, ce qui implique un contrôle réduit sur la politique monétaire. D'un autre côté, elle ouvre de nouvelles possibilités pour intégrer à la blockchain elle-même de nouveaux mécanismes

fiscaux (par exemple, une faible taxe sur les transactions).

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Sur les banques centrales et la politique monétaire.
– Corruption.
– Imposition en temps réel.
– Rôle du gouvernement.

La mutation en marche

En 2015, la première nation virtuelle, BitNation, a été créée en utilisant la blockchain comme technologie de base pour fabriquer les cartes d'identité de ses citoyens. À la même date, l'Estonie devint le premier pays réel à utiliser la technologie de la blockchain.

Sources : https://bitnation.co ; « Estonian National ID Cards Embrace Electronic Payment Capabilities », PYMNTS.com, 14 octobre 2014.

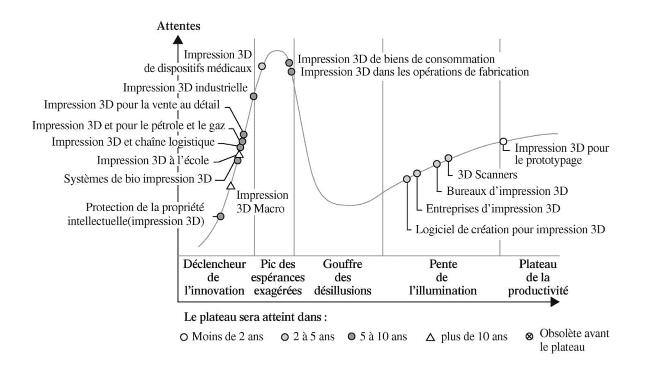
Mutation 19 : L'impression et la fabrication 3D

Le point de bascule : production de la première voiture en impression 3D.

D'ici 2025 : 84 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

L'impression 3D, ou fabrication additive, consiste à créer un objet matériel en superposant des couches à partir d'un plan en 3D, comme si l'on reconstituait un pain tranche par tranche. L'impression 3D permet de créer des objets d'une grande complexité sans équipement de pointe[94]. De nombreux types de matériaux peuvent être utilisés dans l'impression 3D : plastique, aluminium, acier inoxydable, céramique ou même de nouveaux matériaux ; l'imprimante sera capable d'exécuter ce dont la réalisation nécessitait auparavant une chaîne de fabrication entière. Ce système a déjà été utilisé dans divers domaines, de la fabrication d'éoliennes à celle de jouets.

Figure VI – Le cycle de la hype pour l’impression 3D



Source : Gartner, juillet 2014.

Avec le temps, les imprimantes 3D, devenant plus rapides, moins encombrantes et moins coûteuses, sont amenées à se multiplier. Gartner a élaboré un schéma, le « cycle de la hype » qui représente les différents stades de développement des imprimantes 3D, de leurs fonctionnalités et de leur impact sur le marché. La courbe indique la plupart des domaines d’utilisation de la technologie au moment où elle accède à la « pente de l’illumination[95] ».

Impacts positifs

– Développement du produit accéléré.

– Diminution de la durée du cycle conception-fabrication.

– Facilité pour réaliser des pièces complexes (impossibles ou difficiles à réaliser auparavant).

– Demande accrue pour des concepteurs de produits.

– Utilisation de l'impression 3D par les institutions de formation pour accélérer l'apprentissage et la compréhension.

– Démocratisation de la capacité de création/production (limitées toutes deux uniquement par la conception).

– Fabrication traditionnelle de masse pour répondre au défi en trouvant des moyens de réduire les coûts et la taille des lots les plus petits.

– Multiplication des « plans » en open source pour imprimer toutes sortes d'objets.

– Naissance d'une nouvelle industrie fournissant les matériaux d'impression.

– Multiplication des perspectives entrepreneuriales dans le domaine[96].

– Bienfaits pour l'environnement du fait de la réduction des besoins de transport.

Impacts négatifs

– Augmentation des volumes de déchets et fardeau supplémentaire pour l'environnement.
– Procédé de production des pièces par couches anisotropes, c'est-à-dire que leur solidité n'est pas la même dans toutes les directions, ce qui risque de limiter leur fonctionnalité.
– Suppression d'emplois dans une industrie en crise.
– Primauté de la propriété intellectuelle comme source de valeur dans la productivité.
– Piraterie.
– Marques et qualité des produits.

Impact inconnu ou à double tranchant

– Risque que toute innovation puisse être immédiatement copiée.

La mutation en marche

Le magazine *Fortune* a fait un reportage sur un exemple d'impression 3D pour la fabrication :

« Le réacteur Leap conçu par General Electric est non seulement l'une des meilleures ventes de l'entreprise, mais il s'apprête à incorporer un injecteur de carburant produit entièrement par fabrication additive. Le procédé, connu du grand public sous le nom d'impression 3D, consiste à accumuler des couches de matière (dans ce cas des alliages métalliques) en fonction de plans numériques précis. GE achève en ce moment la phase de test des nouveaux réacteurs Leap, mais les pièces produites par fabrication additive ont déjà fait la preuve de leur utilité dans d'autres modèles. »

Source : Andrew Zaleski, « GE's first 3D-printed parts take flight », *Fortune.com*, 12 mai 2015.

Mutation 20 : L'impression 3D et la santé

Le point de bascule : première greffe d'un foie imprimé en 3D.

D'ici 2025 : 76 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit

atteint.

À l'avenir, les imprimantes 3D pourront peut-être produire non seulement des objets, mais aussi des organes humains, selon un procédé appelé bio-impression. De manière très similaire à ce qui se fait pour les objets, un organe est imprimé couche par couche à partir d'un modèle numérique en 3D[97]. Le matériau utilisé pour imprimer un organe serait bien entendu différent de celui que l'on utilise pour imprimer un vélo, et des tests pourraient être réalisés pour voir quels types de matériaux conviennent le mieux, par exemple la poudre de titane pour faire des os. L'impression 3D a un immense potentiel pour répondre aux besoins de conception sur mesure ; or rien n'est plus « sur mesure » qu'un organisme humain.

Impacts positifs

– Faire face à la pénurie de dons d'organes (aux États-Unis, en moyenne 21 personnes meurent chaque année en attente d'une greffe qui n'a pas pu être réalisée faute d'organes)[98].

– Impression de prothèses : remplacement de membres/parties du corps.

– Hôpitaux imprimant la pièce requise pour chaque patient nécessitant une intervention chirurgicale (par exemple attelles, plâtres, implants, vis).

– Médecine personnalisée : la croissance de l'impression 3D est la plus rapide dans les domaines où chaque personne a besoin d'une version légèrement différente d'une partie du corps (par exemple, une couronne dentaire).

– Impression de composants d'un équipement médical difficiles à trouver ou coûteux, par exemple des transducteurs.[99]

– Impression par exemple d'implants dentaires, de pacemakers et de tiges pour la réparation de fractures osseuses dans un hôpital local au lieu de les faire venir, ce qui réduit le coût des opérations.

– Bouleversement radical des essais sur les médicaments, qui pourront être réalisés sur des « modèles » humains réels, car on pourra imprimer entièrement des organes.

– Possibilité d'imprimer de la nourriture, ce qui améliorera la sécurité alimentaire.

Impacts négatifs

– Production non contrôlée ou non réglementée de parties du corps, d'équipements médicaux ou de nourriture.

– Augmentation des volumes de déchets et fardeau supplémentaire pour l'environnement.

– Débats éthiques fondamentaux liés à la possibilité d'imprimer des parties du corps, voire des corps entiers : qui contrôlera la capacité de les produire ? Qui garantira la qualité des organes produits ?

– Incitations au laisser-aller : si tout peut être remplacé, pourquoi avoir un mode de vie sain ?

– Impact sur l'agriculture du fait de l'impression d'aliments.

La mutation en marche

La première utilisation d'un implant spinal imprimé en 3D a été relatée par le magazine *Popular Science* :

« [En 2014], des médecins du Peking University Third Hospital sont parvenus à

implanter la toute première section d'une vertèbre imprimée en 3D chez [un] jeune patient afin de remplacer une vertèbre cervicale cancéreuse. La vertèbre de rechange a été modelée à partir de la vertèbre réelle du garçon, ce qui a facilité leur fusion. »

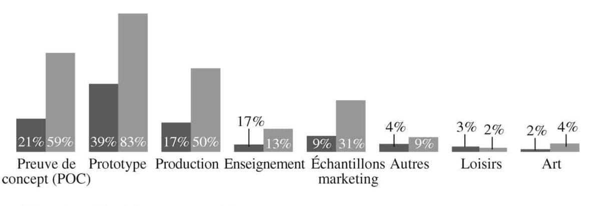
Source : Loren Grush, « Boy Given a 3-D Printed Spine Implant », *Popular Science*, www.popsci.com, 26 août 2014.

Mutation 21 : L'impression 3D et les produits de consommation

Le point de bascule : 5 % des produits de consommation imprimés en 3D.

D'ici 2025 : 81 % des personnes interrogées s'attendent à ce que ce point de bascule soit atteint.

Figure VII – L’utilisation de l’impression 3D dans divers domaines (% des personnes interrogées*)



** Les pourcentages portent sur les personnes interrogées lors de l’enquête de Sculpteo.*

Source : « Sculpteo, The State of 3D Printing » (enquête auprès de 1 000 personnes), publié dans J. Hedstrom, « The State of 3D Printing… », Quora[100].

Puisque n’importe qui peut fabriquer des pièces avec une imprimante 3D, il devient possible de fabriquer localement et sur demande les produits de consommation ordinaires, au lieu de les acheter en magasin. L’imprimante finira par devenir un équipement courant au bureau, voire à domicile. Ceci permettra de réduire encore le coût d’accès aux biens de

consommation et permettra la diffusion des objets imprimés en 3D. Les domaines d'utilisation actuels de l'impression 3D (figure VII) indiquent plusieurs secteurs liés au développement et à la production de biens de consommation (preuve de concept, prototype et production).

Impacts positifs

– Davantage de produits personnalisés et de fabrication personnelle.

– Possibilité de créer des produits de niche et de les commercialiser.

– La croissance de l'impression 3D est la plus rapide dans les domaines où chaque client a des besoins légèrement différents pour un même produit, par exemple un pied d'une forme particulière ayant besoin d'une chaussure spécifique.

– Réduction des coûts de logistique, potentiellement d'énormes économies d'énergie[101].

– Contribution à l'activité locale ; fabrication sur place de biens, en tirant parti de

l'élimination des coûts de logistique (économie circulaire).

Impacts négatifs

– Chaîne d'approvisionnement et de logistique globale et régionale : réduction de la demande donnant lieu à des suppressions d'emplois.

– Contrôle des armes à feu : capacité d'imprimer des objets potentiellement dangereux, comme des armes à feu.

– Augmentation des volumes de déchets et fardeau supplémentaire pour l'environnement.

– Remise en cause fondamentale des contrôles sur la production, des réglementations protégeant le consommateur, des barrières commerciales, des brevets, taxes et autres restrictions gouvernementales ; difficulté de s'adapter.

La mutation en marche

En 2014, près de 133 000 imprimantes 3D ont été livrées dans le monde entier, une hausse de 68 %

par rapport à 2013. La majorité des imprimantes, vendues pour moins de 10 000 dollars, conviennent pour des applications allant des laboratoires et des écoles à de petites entreprises de fabrication. En conséquence, le secteur des fournitures et services 3D a fortement crû, atteignant 3,3 milliards de dollars[102].

Mutation 22 : Des êtres humains sur mesure[103]

Le point de bascule : naissance du premier être humain dont le génome a été directement et délibérément modifié.

Depuis le début du siècle, le coût du séquençage entier d'un génome humain a été divisé pratiquement par 6. Le *Human Genome Project* a dépensé 2,7 milliards de dollars pour produire le premier décryptage d'un génome entier en 2003. En 2009, le coût par génome n'était plus que de 100 000 dollars et, aujourd'hui, les chercheurs peuvent débourser seulement 1 000 dollars auprès d'un laboratoire spécialisé pour séquencer un génome humain. Une tendance similaire a vu le jour plus

récemment dans le domaine de la modification du génome avec la mise au point de la méthode CRISPR/Cas9, adoptée très rapidement du fait de son efficacité supérieure et de son coût moindre que les techniques précédentes.

La véritable révolution n'est donc pas que des scientifiques spécialisés soient tout à coup en mesure de modifier les gènes des plantes et des animaux, mais plutôt la facilité accrue offerte par les nouvelles technologies de séquençage et de modification, ce qui augmente fortement le nombre de chercheurs à même de mener des expériences.

Impacts positifs

– Rendements agricoles améliorés grâce à des variétés et des traitements plus robustes, plus efficaces et plus productifs.
– Traitements médicaux plus efficaces grâce à la médecine personnalisée.
– Diagnostics médicaux plus rapides, plus précis et moins invasifs.
– Meilleure compréhension de l'impact des activités humaines sur la nature.

– Diminution des maladies génétiques et de la souffrance qu’elles provoquent.

Impacts négatifs

– Risque d’interaction entre les plantes/animaux génétiquement modifiée et la santé humaine/l’environnement.

– Augmentation des inégalités dues au coût élevé des traitements.

– Réactions de rejet social des technologies de modification génétique.

– Utilisation à mauvais escient des données génétiques par les gouvernements ou les entreprises.

– Désaccords internationaux quant à l’usage éthique des technologies de modification génétique.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Longévité accrue.

– Dilemmes éthiques concernant la nature de l’humanité.

– Basculements culturels.

La mutation en marche

En mars 2015, des scientifiques réputés publiaient un article dans *Nature* appelant à un moratoire sur la modification des embryons humains, soulignant « de graves inquiétudes concernant les implications de ces recherches en matière d'éthique et de sécurité ».

À peine un mois plus tard, en avril 2015, des chercheurs sous la direction de Junjiu Huang rattachés de l'Université Sun Yat-sen à Canton (Guangzhou) ont publié le premier article scientifique au monde sur la modification de l'ADN d'embryons humains.

Sources : Edward Lanphier, Fyodor Urnov, Sarah Ehlen Haecker, Michael Werner, Joanna Smolenski, « Don't edit the human germ line », *Nature*, www.nature.com, 12 mars 2015 ; Adam Pasick, Akshat Rathi, « Chinese researchers have genetically modified a human embryo – and many scientists think they've gone too far », *Quartz*, Qz.com, 23 avril 2015.

Mutation 23 : Les neurotechnologies[104]

Le point de bascule : le premier humain à qui une mémoire artificielle est implantée dans le cerveau.

Tous les domaines de notre vie personnelle et professionnelle peuvent tirer parti d'une meilleure compréhension du fonctionnement de notre cerveau – sur le plan individuel comme sur le plan collectif. Élément révélateur, au cours des dernières années, deux des programmes de recherche ayant reçu les financements les plus importants au monde portent sur les sciences du cerveau : le *Human Brain Project* (projet à 1 milliard d'euros sur dix ans financé par la Commission européenne) et l'initiative *Brain Research Through Advancing Innovative Neurotechnologies* (BRAIN) lancée par le président Obama. S'il est vrai que ces programmes sont principalement centrés sur la recherche scientifique et médicale, on assiste également à la croissance rapide (et à l'influence grandissante) des neurotechnologies dans les aspects non médicaux de notre vie. Ces technologies consistent à surveiller l'activité cérébrale et à observer la manière dont le cerveau change et/ou interagit avec le monde.

Par exemple, en 2015, la portabilité et l'accessibilité des systèmes d'enregistrement ou d'estimation de l'activité cérébrale (coûtant moins cher qu'une console de jeu) offrent déjà des possibilités inouïes d'interfaçage entre un

individu et une machine – marquant ce qui va devenir non seulement une « neuro-révolution », mais aussi une révolution sociale complète[105].

Impacts positifs

– Les personnes handicapées peuvent maintenant commander une prothèse de membre ou un fauteuil roulant « par la pensée ».

– Le neurofeedback, qui permet de surveiller en temps réel l'activité cérébrale, ouvre d'innombrables possibilités pour aider à lutter contre les addictions, réguler le comportement alimentaire et améliorer les performances, que ce soit dans le sport ou à l'école.

– La possibilité de collecter, traiter, stocker et comparer d'immenses volumes de données liées à l'activité cérébrale nous permettra d'améliorer le diagnostic et l'efficacité des traitements des troubles du cerveau et des problèmes de santé mentale.

– La justice sera à même de traiter au cas par cas les affaires criminelles et d'évaluer les questions de responsabilité de manière bien

plus précise que ce n'est actuellement le cas.

– La prochaine génération d'ordinateurs, conçue à l'aide des résultats des sciences du cerveau, sera peut-être à même de raisonner, prédire et réagir tout comme le cortex humain (zone du cerveau connue comme étant le siège de l'intelligence).

Impacts négatifs

– Discrimination en fonction du cerveau : les individus ne se résument pas à leur cerveau et l'on risque de prendre des décisions sans tenir compte du contexte, uniquement sur la base de données sur le cerveau, dans différents domaines tels que la justice, les ressources humaines, le comportement des consommateurs ou l'éducation[106].

– Risque que les pensées/rêves/désirs puissent être décryptés et que toute intimité disparaisse.

– Risque que la créativité ou la « touche humaine » ne disparaisse lentement mais sûrement, peur véhiculée principalement

par une exagération de la puissance des sciences du cerveau.

– Les limites entre l'homme et la machine deviennent floues.

Impacts inconnus ou à double tranchant

– Modification culturelle et sociétale.

– Désincarnation de la communication.

– Amélioration des performances.

– L'augmentation des facultés cognitives humaines déclenchera l'apparition de nouveaux comportements.

La mutation en marche

– Les algorithmes de calcul cortical ont déjà montré leur capacité à résoudre des CAPTCHA modernes (tests communément utilisés pour distinguer les humains des machines).

– L'industrie automobile a mis au point des systèmes capables de surveiller l'attention et la vigilance afin d'arrêter une voiture lorsque le conducteur s'endort au volant.

– En Chine, un programme informatique intelligent a obtenu un meilleur score que la plupart des adultes à un test de QI.
– Watson, le superordinateur d'IBM, après avoir épluché des millions de dossiers médicaux et de bases de données, a commencé à aider les médecins à choisir les bonnes options thérapeutiques pour les patients ayant des besoins complexes.
– Des capteurs d'images « neuromorphiques », c'est-à-dire inspirés du mode de communication entre l'œil et le cerveau, trouveront toutes sortes d'usages, de l'utilisation des batteries à la robotique.
– Les neuroprothèses permettent aux personnes handicapées de contrôler des membres artificiels ou un exosquelette. Certains aveugles seront capables de (re)voir.
– Le programme *Restoring Active Memory* (RAM) mené par la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA, agence américaine pour les projets de recherche avancée de défense) est un précurseur des travaux de restauration et d'amélioration de la mémoire.

– Des neuroscientifiques du MIT ont démontré que des symptômes de dépression chez la souris pouvaient être soignés par la réactivation artificielle de souvenirs heureux.

Sources : Murali Doraiswamy, « 5 brain technologies that will shape our future », World Economic Forum Agenda, www.weforum.org, 19 août 2015.

Alvaro Fernandez, « 10 neurotechnologies about to transform brain enhancement and brain health », SharpBrains.com, 10 novembre 2015.

Notes

1. Les termes « disruption » et « innovation disruptive » ont fait l'objet de nombreuses discussions dans les cercles de stratégie d'affaires et de gestion, plus récemment dans Clayton M. Christensen, Michael E. Raynor, et Rory McDonald, *What is Disruptive Innovation ?*, *Harvard Business Review*, décembre 2015. Tout en respectant les intentions du professeur Christensen et de ses collègues concernant les définitions, j'ai donné à ces termes une signification plus large dans ce livre.

2. Erik Brynjolfsson et Andrew McAfee, *Le deuxième âge de la machine : Travail et prospérité à l'heure de la révolution technologique*, Odile Jacob, 2014.

3. James Manyika et Michael Chui, "Digital Era Brings Hyperscale Challenges", *The Financial Times*, 13 août 2014.

4. La designer et architecte Neri Oxman représente un exemple fascinant de ce que je viens de décrire. Son laboratoire de recherches travaille à la charnière entre

design informatique, impression tridimensionnelle, génie des matériaux et biologie synthétique.

www.ted.com/talks/neri_oxman_design_at_the_intersection_of_technology_and_biology

5. Carl Benedikt Frey and Michael Osborne, avec des contributions de Citi Research, "Technology at Work The Future of Innovation and Employment", Oxford Martin School and Citi, février 2015.

https://ir.citi.com/jowGiIw%2FoLrkDA%2BldI1U%2FYUEpWP9ifowg%2F4HmeO9kYfZiN3SeZwWEvPez7gYEZXmxsFM7eq1gc0%3D

6. David Isaiah, "Automotive grade graphene : the clock is ticking", *Automotive World*, 26 août 2015.

www.automotiveworld.com/analysis/automotive-grade-graphene-clock-ticking

7. Sarah Laskow, "The Strongest, Most Expensive Material on Earth", *The Atlantic*, 23 septembre 2014.

www.theatlantic.com/technology/archive/2014/09/the-strongest-most-expensive-material-on-earth/380601

8. Certaines technologies sont décrites plus en détail dans : Bernard Meyerson, "Top 10 Technologies of 2015", Meta-Council on Emerging Technologies, World Economic Forum, 4 mars 2015.

https://agenda.weforum.org/2015/03/top-10-emerging-technologies-of-2015-2

9. Tom Goodwin, "In the age of disintermediation the battle is all for the consumer interface", *TechCrunch*, mars 2015.

http://techcrunch.com/2015/03/03/in-the-age-of-disintermediation-the-battle-is-all-for-the-customer-interface

10. K.A. Wetterstrand, "DNA Sequencing Costs : Data from the NHGRI Genome Sequencing Program (GSP)", National Human Genome Research Institute, 2 octobre 2015.

www.genome.gov/sequencingcosts

11. Ariana Eunjung Cha, "Watson's Next Feat ? Taking on Cancer", *The Washington Post*, 27 juin 2015.

www.washingtonpost.com/sf/national/2015/06/27/watsons-next-feat-taking-on-cancer

12. Jacob G. Foster, Andrey Rzhetsky et James A. Evans, "Tradition and Innovation in Scientists' Research Strategies", *American Sociological Review*, octobre 2015, 80 : 875-908.

www.knowledgelab.org

13. Mike Ramsay et Douglas Cacmillan, "Carnegie Mellon Reels After Uber Lures Away Researchers", *Wall Street Journal*, 31 mai 2015.

www.wsj.com/articles/is-uber-a-friend-or-foe-of-carnegie-mellon-in-robotics-1433084582

14. World Economic Forum, Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact, Survey Report, Global Agenda Council on the Future of Software and Society, septembre 2015.

15. Pour plus de détails sur la méthodologie d'enquête, voir les pages 4 et 39 du rapport cité dans la note

précédente.

16. UK Office of National Statistics, “Surviving to Age 100”, 11 décembre 2013, www.ons.gov.uk/ons/rel/lifetables/historic-and-projected-data-from-the-period-and-cohort-life-tables/2012-based/info-surviving-to-age-100.html

17. The Conference Board, Productivity Brief 2015, 2015.

Selon des données compilées par The Conference Board, le taux de croissance moyen de la productivité globale du travail sur la période 1996-2006 est de 2,6 %, contre 2,1 % pour 2013 et 2014.

www.conference-board.org/retrievefile.cfm?filename=The-Conference-Board-2015-Productivity-Brief.pdf&type=subsite

18. United States Department of Labor, “Productivity change in the nonfarm business sector, 1947-2014”, Bureau of Labor Statistics.

www.bls.gov/lpc/prodybar.htm

19. United States Department of Labor, “Preliminary multifactor productivity trends, 2014”, Bureau of Labor Statistics, 23 juin 2015.

www.bls.gov/news.release/prod3.nr0.htm

20. OECD, “The Future of Productivity”, juillet 2015.

www.oecd.org/eco/growth/The-future-of-productivity-policy-note-July-2015.pdf

Pour une courte discussion de la baisse de la productivité américaine, voir : John Fernald and Bing Wang, “The

Recent Rise and Fall of Rapid Productivity Growth", Federal Reserve Bank of San Francisco, 9 février 2015.

www.frbsf.org/economic-research/publications/economic-letter/2015/february/economic-growth-information-technology-factor-productivity

21. L'économiste Brad DeLong le montre dans : J. Bradford DeLong, "Making Do With More", Project Syndicate, 26 février 2015.

www.project-syndicate.org/commentary/abundance-without-living-standards-growth-by-j--bradford-delong-2015-02

22. John Maynard Keynes, « Perspectives économiques pour nos petits enfants » in *La Pauvreté dans l'abondance*, Gallimard, 2002, éd. originale 1931.

23. Carl Benedikt Frey et Michael Osborne, "The Future of Employment : How Susceptible Are Jobs to Computerisation ?", Oxford Martin School, Programme on the Impacts of Future Technology, University of Oxford, 17 septembre 2013. www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf

24. Shelley Podolny, "If an Algorithm Wrote This, How Would You Even Know ?", *The New York Times*, 7 mars 2015.

www.nytimes.com/2015/03/08/opinion/sunday/if-an-algorithm-wrote-this-how-would-you-even-know.html?_r=0

25. Martin Ford, *Rise of the Robots*, Basic Books, 2015.

26. Daniel Pink, *Free Agent Nation The Future of Working for Yourself*, Grand Central Publishing, 2001.

27. Cité in : Farhad Manjoo, “Uber’s business model could change your work”, *The New York Times*, 28 janvier 2015.

28. Cité in : Sarah O’Connor, “The human cloud : A new world of work”, *The Financial Times*, 8 octobre 2015.

29. Lynda Gratton, *The Shift : The Future of Work is Already Here*, Collins, 2011.

30. R. Buckminster Fuller and E.J. Applewhite, *Synergetics : Explorations in the Geometry of Thinking*, Macmillan, 1975.

31. Eric Knight, “The Art of Corporate Endurance”, *Harvard Business Review*, 2 avril 2014.

https://hbr.org/2014/04/the-art-of-corporate-endurance

32. VentureBeat, “WhatsApp now has 700M users, sending 30B messages per day”, 6 janvier 2015.

http://venturebeat.com/2015/01/06/whatsapp-now-has-700m-users-sending-30b-messages-per-day

33. Mitek and Zogby Analytics, Millennial Study 2014, septembre 2014.

www.miteksystems.com/sites/default/files/Documents/zogby_final_embargo_14_9_25.pdf

34. Gillian Wong, “Alibaba Tops Singles’ Day Sales Record Despite Slowing China Economy”, *The Wall Street Journal*, 11 novembre 2015.

www.wsj.com/articles/alibaba-smashes-singles-day-sales-record-1447234536

35. “The Mobile Economy : Sub-Saharan Africa 2014”, GSM Association, 2014.

http://www.gsmamobileeconomyafrica.com/GSMA_ME_SubSaharanAfrica_Web_Singles.pdf

36. Tencent, “Announcement of results for the three and nine months ended 30 septembre 2015”.

www.tencent.com/en-us/content/ir/an/2015/attachments/20151110.pdf

37. MIT, “The ups and downs of dynamic pricing”, innovation@work Blog, MIT Sloan Executive Education, 31 octobre 2014.

http://executive.mit.edu/blog/the-ups-and-downs-of-dynamic-pricing#. VG4yA_nF-bU

38. Giles Turner, “Cybersecurity Index Beat S & P500 by 120 %. Here’s Why, in Charts”, Money Beat, *The Wall Street Journal*, 9 septembre 2015.

http://blogs.wsj.com/moneybeat/2015/09/09/cybersecurity-index-beats-sp-500-by-120-heres-why-in-charts

39. IBM, “Redefining Boundaries : Insights from the Global C-Suite Study”, novembre 2015.

www-935.ibm.com/services/c-suite/study

40. Global e-Sustainability Initiative and The Boston Consulting Group, Inc, “GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future”, décembre 2012.

http://gesi.org/SMARTer2020

41. Moisés Naím, *The End of Power : From Boardrooms to Battlefields and Churches to States, Why Being in Charge Isn't What It Used to Be*, Basic Books, 2013.

Ce livre attribue la fin du pouvoir à trois révolutions : révolution du « plus », révolution de la mobilité et révolution des mentalités. Il prend soin de ne pas identifier le rôle de la technologie de l'information comme prédominant mais il ne fait aucun doute que la révolution du plus, de la mobilité et des mentalités doit beaucoup à l'âge numérique et à la diffusion de nouvelles technologies.

42. Cet argument est exposé *in* : "The Middle Kingdom Galapagos Island Syndrome : The Cul-De-Sac of Chinese Technology Standards", Information Technology and Innovation Foundation (ITIF), 15 décembre 2014.

www.itif.org/publications/2014/12/15/middle-kingdom-galapagos-island-syndrome-cul-de-sac-chinese-technology

43. "Innovation Union Scoreboard 2015", Commission Européenne, 2015.

http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards/files/ius-2015_en.pdf

Le système de mesure utilisé pour the Innovation Union Scoreboard distingue entre trois principaux types d'indicateurs et huit dimensions de l'innovation, aboutissant à un total de 25 indicateurs différents. Les facilitateurs savent saisir les principaux moteurs d'innovation performante externes à l'entreprise et

couvrent trois dimensions de l'innovation : ressources humaines, systèmes de recherche ouverts excellents et attractifs, et finance et soutien. Les activités des entreprises expriment les efforts d'innovation au niveau de l'entreprise, regroupés en trois dimensions de l'innovation : investissements de l'entreprise, liens et esprit d'entreprenariat, et atouts intellectuels. Les résultats couvrent les effets des activités de l'entreprise vouées à l'innovation, regroupées en deux dimensions de l'innovation : innovateurs et effets économiques.

44. World Economic Forum, Collaborative Innovation Transforming Business, Driving Growth, août 2015.

www3.weforum.org/docs/WEF_Collaborative_Innovation_report_2015.pdf

45. World Economic Forum, Global Information Technology Report 2015: ICTs for Inclusive Growth, Soumitra Dutta, Thierry Geiger et Bruno Lanvin, eds., 2015.

46. World Economic Forum, Data-Driven Development : Pathways for Progress, janvier 2015.

www3.weforum.org/docs/WEFUSA_DataDrivenDevelopment_Report2015.pdf

47. Tom Saunders and Peter Baeck, "Rethinking Smart Cities From The Ground Up", Nesta, juin 2015. www.nesta.org.uk/sites/default/files/rethinking_smart_cities_from_the_ground_up_2015.pdf

48. Carolina Moreno, "Medellin, Colombia Named 'Innovative City Of The Year' In WSJ And Citi Global Competition", *Huffington Post*, 2 mars 2013.

www.huffingtonpost.com/2013/03/02/medellin-named-innovative-city-of-the-year_n_2794425.html

49. World Economic Forum, Top Ten Urban Innovations, Global Agenda Council on the Future of Cities, World Economic Forum, octobre 2015.

www3.weforum.org/docs/Top_10_Emerging_Urban_Innovations_report_2010_20.10.pdf

Version française : Top 10 des innovations urbaines, www3.weforum.org/docs/WEF_Top_10_Emerging_Urban_Innovations_report_FR.pdf

50. Alex Leveringhaus and Gilles Giacca, "Robo-Wars The Regulation of Robotic Weapons", The Oxford Institute for Ethics, Law and Armed Conflict, The Oxford Martin Programme on Human Rights for Future Generations, and The Oxford Martin School, 2014.

www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/briefings/Robo-Wars.pdf

51. James Giordano quoted in Tom Requarth, "This is Your Brain. This is Your Brain as a Weapon", Foreign Policy, 14 septembre 2015.

http://foreignpolicy.com/2015/09/14/this-is-your-brain-this-is-your-brain-as-a-weapon-darpa-dual-use-neuroscience

52. Manuel Castells, "The impact of the Internet on Society : A Global Perspective", *MIT Technology Review*, 8 septembre 2014.

www.technologyreview.com/view/530566/the-impact-of-the-internet-on-society-a-global-perspective

53. Credit Suisse, Global Wealth Report 2015, octobre 2015.

54. OECD, “Divided We Stand : Why Inequality Keeps Rising”, 2011.

www.oecd.org/els/soc/49499779.pdf

55. Frederick Solt, “The Standardized World Income Inequality Database”, Working paper, SWIID, Version 5.0, octobre 2014.

http://myweb.uiowa.edu/fsolt/swiid/swiid.html

56. Richard Wilkinson et Kate Pickett, *The Spirit Level : Why Greater Equality Makes Societies Stronger*, Bloomsbury Press, 2009.

57. Sean F. Reardon et Kendra Bischoff, “More unequal and more separate : Growth in the residential segregation of families by income, 1970-2009”, US 2010 Project, 2011.

www.s4.brown.edu/us2010/Projects/Diversity/Data/Report/report111111.pdf

http://cepa.stanford.edu/content/more-unequal-and-more-separate-growth-residential-segregation-families-income-1970-2009

58. Eleanor Goldberg, “Facebook, Google are Saving Refugees and Migrants from Traffickers”, *Huffington Post*, 10 septembre 2015.

www.huffingtonpost.com/entry/facebook-google-maps-refugeesmigrants_55f1aca8e4b03784e2783ea4

59. Robert M. Bond, Christopher J. Fariss, Jason J. Jones, Adam D. I. Kramer, Cameron Marlow, Jaime E.

Settle, and James H. Fowler, “A 61-million-person experiment in social influence and political mobilization”, *Nature*, 2 septembre 2012 (en ligne).

www.nature.com/nature/journal/v489/n7415/full/nature11421.html

60. Stephen Hawking, Stuart Russell, Max Tegmark, Frank Wilczek, “Stephen Hawking : ‘Transcendence looks at the implications of artificial intelligence but are we taking AI seriously enough ?”, *The Independent*, 2 mai 2014.

www.independent.co.uk/news/science/stephen-hawking-transcendence-looks-at-the-implications-of-artificial-intelligence-but-are-we-taking-9313474.html

61. Greg Brockman, Ilya Sutskever & the OpenAI team, “Introducing OpenAI”, 11 décembre 2015.

https://openai.com/blog/introducing-openai

62. Steven Levy, “How Elon Musk and Y Combinator Plan to Stop Computers From Taking Over”, 11 décembre 2015.

https://medium.com/backchannel/how-elon-musk-and-y-combinator-plan-to-stop-computers-from-taking-over-17e0e27dd02a#

63. Sara Konrath, Edward O’Brien et Courtney Hsing, “Changes in dispositional empathy in American college students over time : A meta-analysis”, *Personality and Social Psychology Review*, 2010.

64. Cité *in* : Simon Kuper, “Log out, switch off, join in”, *FT Magazine*, 2 octobre 2015.

https://www.ft.com/content/fc76fce2%E2%80%9167b3%E2%80%9111e5%E2%80%9197d0%E2%80%911456a776a4f5

65. Sherry Turkle, *Reclaiming Conversation : The Power of Talk in a Digital Age*, Penguin, 2015.

66. Nicholas Carr, *The Shallows : How the Internet is changing the way we think, read and remember*, Atlantic Books, 2010.

67. Pico Iyer, *The Art of Stillness : Adventures in Going Nowhere*, Simon and Schuster, 2014.

68. Cité *in* : Elizabeth Segran, “The Ethical Quandaries You Should Think About the Next Time You Look at Your Phone”, *Fast Company*, 5 octobre 2015.

www.fastcompany.com/3051786/most-creative-people/the-ethical- quandaries-you-should-think-about-the-next-time-you-look-at

69. Le terme « intelligence contextuelle » a été inventé par Nihtin Nohria plusieurs années avant qu’il ne devienne doyen de la Harvard Business School.

70. Klaus Schwab, Moderne Unternehmensführung im Maschinenbau (Gestion moderne d’entreprise en génie mécanique), VDMA, 1971.

71. Cité *in* : Peter Snow, *The Human Psyche in Love, War & Enlightenment*, Boolarong Press, 2010.

72. Daniel Goleman, “What Makes A Leader ?”, *Harvard Business Review*, janvier 2004.

https://hbr.org/2004/01/what-makes-a-leader

73. Rainer Maria Rilke, *Lettres à un jeune poète*, Insel Verlag, 1929.

74. Voltaire a écrit : « Le doute n'est pas une condition agréable, mais la certitude est absurde. » « Sur l'âme et Dieu », Lettre à Frederick William, prince de Prusse, 28 novembre 1770.

75. Martin Nowak et Roger Highfield, *Super Cooperators : Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed*, Free Press, 2012.

76. World Economic Forum, Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact, Survey Report, Global Agenda Council on the Future of Software and Society, novembre 2015.

77. À la manière de ce qui se pratique sur le site Yelp.com, chacun pourrait partager ses commentaires directement avec les autres, et ces commentaires seraient enregistrés et/ou partagés en ligne par le biais de puces implantées directement dans le corps.

78. Le terme de « rumeur » suggère que ceux qui transmettent l'information sont aveuglément d'accord avec quelqu'un d'autre ou répètent ce que d'autres ont dit sans réflexion critique.

79. Internet live stats, "Internet users in the world".

www.internetlivestats.com/internet-users

www.worldometers.info/world-population

80. "Gartner Says Worldwide Traditional PC, Tablet, Ultramobile and Mobile Phone Shipments to Grow 4.2 Percent in 2014", *Gartner*, 7 juillet 2014.

www.gartner.com/newsroom/id/2791017

81. "Number of smartphones sold to end users worldwide from 2007 to 2014 (in million units)", Statista, 2015.

www.statista.com/statistics/263437/globalsmartphone-sales-to-end-users-since-2007

82. Lev Grossman, "Inside Facebook's Plan to Wire the World", *Time*, 15 décembre 2014.

http://time.com/facebook-world-plan

83. "One Year In : Internet.org Free Basic Services", *Facebook Newsroom*, 26 juillet 2015.

http://newsroom.fb.com/news/2015/07/one-year-in-internet-org-free-basic-services

84. Udi Manber et Peter Norvig, "The power of the Apollo missions in a single Google search", Google Inside Search, 28 août 2012.

http://insidesearch.blogspot.com/2012/08/the-power-of-apollo-missions-in-single.html

85. Satish Meena, "Forrester Research World Mobile And Smartphone Adoption Forecast, 2014 To 2019 (Global)", Forrester Research, 8 août 2014.

https://www.forrester.com/report/Forrester+Research+World+Mobile+And+Smartphone+Adoption+Forecast+2014+To+2019+Global/-/E-RES118252

86. GSMA, "New GSMA Report Forecasts Half a Billion Mobile Subscribers in Sub-Saharan Africa by 2020", 6 novembre 2014.

www.gsma.com/newsroom/press-release/gsma-report-forecasts-half-a-billion-mobile-subscribers-ssa-2020

87. "Processing Power Compared : Visualizing a 1 trillion-fold increase in computing performance", Experts Exchange.

http://pages.experts-exchange.com/processing-power-compared

88. "A history of storage costs", mkomo.com, 8 septembre 2009.

www.mkomo.com/cost-per-gigabyte

Selon ce site, les données ont été extraites de Notes historiques sur le coût d'espace de stockage sur disque dur (http://ns1758.ca/winch/winchest.html). Les données de 2004 à 2009 ont été extraites en utilisant Internet Archive Wayback Machine (http://archive.org/web/web.php).

89. Elana Rot, "How Much Data Will You Have in 3 Years ?", *Sisense*, 29 juillet 2015.

www.sisense.com/blog/much-data-will-3-years

90. La loi de Moore prédit que la vitesse des processeurs ou le nombre de transistors dans une unité centrale de traitement doublera tous les deux ans.

91. Kevin Mayer, Keith Ellis et Ken Taylor, "Cattle Health Monitoring Using Wireless Sensor Networks", Proceedings of the Communication and Computer Networks Conference, Cambridge, MA, USA, 2004.

www.academia.edu/781755/Cattle_health_monitoring_using_wireless_sensor_networks

92. Carl Benedikt Frey et Michael A. Osborne, “The Future of Employment : How Susceptible Are Jobs to Computerisation?”, 17 septembre 2013.

http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf

93. Will Knight, “This Robot Could Transform Manufacturing”, *MIT Technology Review*, 18 septembre 2012.

www.technologyreview.com/news/429248/this-robotcould-transform-manufacturing

94. Voir www.stratasys.com.

95. Dan Worth, “Business use of 3D printing is years ahead of consumer uptake”, V3.co. uk, 19 août 2014.

www.v3.co.uk/v3-uk/news/2361036/business-use-of-3d-printing-is-years-ahead-of-consumer-uptake

96. “The 3D Printing Startup Ecosystem”, SlideShare.net, 31 juillet 2014.

http://de.slideshare.net/SpontaneousOrder/3d-printing-startup-ecosystem

97. Alban Leandri, “A Look at Metal 3D Printing and the Medical Implants Industry”, 3DPrint.com, 20 mars 2015.

http://3dprint.com/52354/3d-print-medical-implants

98. “The Need is Real : Data”, US Department of Health and Human Services, Organdonor.gov.

www.organdonor.gov/about/data.html

99. 99. “An image of the future”, *The Economist*, 19 mai 2011.

www.economist.com/node/18710080

100. Jessica Hedstrom, “The State of 3D Printing”, 23 mai 2015.

http://jesshedstrom.quora.com/The-State-of-3D-Printing

101. Maurizio Bellemo, “The Third Industrial Revolution : From Bits Back to Atoms”, CrazyMBA.Club, 25 janvier 2015.

www.crazymba.club/the-third-industrial-revolution

102. T.E. Halterman, “3D Printing Market Tops $3.3 Billion, Expands by 34 % in 2014”, 3DPrint.com, 2 avril 2015.

http://3dprint.com/55422/3d-printing-market-tops-3-3-billion-expands-by-34-in-2014

103. Note : Ce point de bascule ne faisait pas partie de l’enquête de départ (Deep Shift Technology Tipping Points and Societal Impact, Survey Report, World Economic Forum, septembre 2015).

104. *Ibid*.

105. A. Fernandez, N. Sriraman, B. Gurewitz, O. Oullier, *Pervasive neurotechnology : A groundbreaking analysis of 10,000+ patent filings transforming medicine, health, entertainment and business*, SharpBrains, 2015.

http://sharpbrains.com/pervasive-neurotechnology

106. O. Oullier (2012), “Clear up this fuzzy thinking on brain scans”, *Nature*, 483 (7387), p. 7, doi : 10.1038/483007a

www.nature.com/news/clear-up-this-fuzzy-thinking-on-brain-scans-1.10127

Table des Matières